

الچيولوچيا العامة

دكتور يحيى محمد أنور

أستاذ ورئيس قسم الجيولوجيا

دكتور محمد عبد الوهاب الشناوي

أستاذ الجيولوجيا

دكتور أحمد البصيلي

مدرس الجيولوجيا

دكتور جلال عويس

مدرس الجيولوجيا

دكتور فتحي النزهة

مدرس الجيولوجيا

كلية العلوم - جامعة الاسكندرية

دار المطبوعات الجديدة

٥ ش سان مارك - المنشية

☎ ٤٨٢٥٥٠٨ - الاسكندرية

الجيولوجيا العامة

دكتور يحيى محمد أنور
أستاذ ورئيس قسم الجيولوجيا

دكتور محمد عبد الوهاب الشناوي
أستاذ الجيولوجيا

دكتور أحمد البحيلي
مدرس الجيولوجيا

دكتور جلال عوليس
مدرس الجيولوجيا

دكتور فتحي النزكي
مدرس الجيولوجيا

كلية العلوم - جامعة الإسكندرية



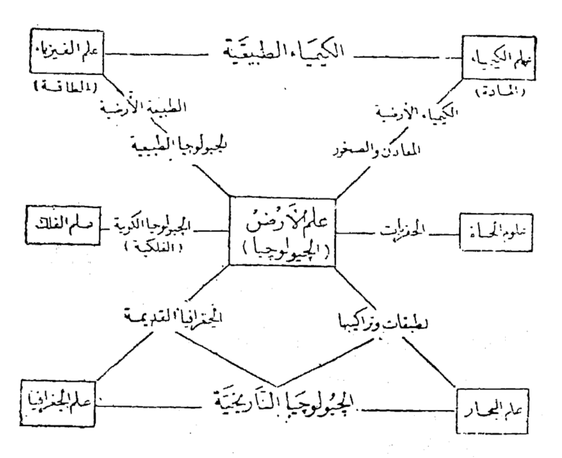
دار المطبوعات الجديدة

مقـــــدمة

(بقــلم الشناوى)

يختص عــلم الجيولوجيا بدراسة الأرض من حيث أصلها ونشأتها ومكوناتها وتراكيبها وتاريخ تطورها ، أو بمعنى آخر يبحث هذا العلم كيف بدأت الأرض وكيف تمت وتغيرت تحت تأثير الظروف الطبيعية التى مرت بها ، وكيف أصبحت كما نراها فى وقتنا الحالى .

يحمل لفظ الجيولوجيا معناه من أصل يونانى مشتق من كلمتين هما « Ge » ومعناها أرض ، « Logos » ومعناها علم . ويشمل علم الأرض أو الجيولوجيا فروعا كثيرة مرتبطة بعضها ارتباطا وثيقا ، يختص كل منها بدراسة معينة مكملة للدراسات المستفيضة فى الفروع الأخرى ، ويحتاج الجيولوجى أو دارس الجيولوجيا إلى الإلمام بكثير من العلوم الأساسية مثل علم الكيمياء الذى يستعين به لمعرفة حقيقة مكونات الأرض ، وعـــلم الفيزياء (الطبيعة) الذى يساعد على تفهم التغييرات الطبيعية التى مرت بها الأرض ، وعلوم الحياة (الحيوان والنبات) التى تنير الطريق لمعرفة نوع الحيــاة التى كانت سائدة فى عصر من العصور الجيولوجية الغابرة . ويفيد علم البحار فى التعرف على كيفية تكوين الرواسب الطبقية ، ويساهم علم الجغرافيا فى الإستنتاجات الخاصة بتوزيع الأرض والبحار فى قديم الأزل ، ويرشد علم الفلك إلى أصل الأرض ووضعها فى الكون بالنسبة للكواكب الأخرى . ويوضح الشكل التخطيطى التالى أهم فروع علم الارض وصلتها بالعلوم الأساسية الأخرى .



بدأ التفكير فى علم الأرض من قديم الأزل ، ولكن ما من شك أن الإغريق هم أول من حملوا مصباح هذا العلم وأضاءوا الطريق أمام المفكرين والباحثين . والمعروف أن « هومر — قبل ٩٠٠ ق . م . Homer » هو أول من فكر جديا فى شكل الأرض واعتبرها شبه قرص مبطط تحيط به مياه « النهر المحيط — river Oceanus » ، تبعه فلاسفة مدرسة فيثاغورث Phythagoros ثم ارستطاليس ٣٨٢ — ٣٢٢ ق . م . Aristottel الذى استطاع أن يبرهن بأدلة علمية واضحة على كروية الأرض ، ثم هيرودوتس Herodotus الذى لاحظ الشبه الكبير بين بعض البقايا والهياكل العظمية للحفريات التى وجدها فى الصخور وبعض الأصداف والمحارات للكائنات الحية فى البحر واستنتج من ذلك أن الأماكن التى توجد

بها مثل هذه البقايا الحيوانية القديمة لا بد وأن تكون قد غمرتها مياه البحر في وقت من الأوقات ، كما أنه لاحظ كمية الطمى التى يرسبها النيل سنوياً ، ومن مآثر قوله « مصر هبة النيل » .

وفى العهود المظلمة التى تلت تحطم الإمبراطورية الرومانية ، تمكن المترجمون العرب من حفظ هذا التراث من الضياع ، وحمل المفكرون العرب شعلة العلوم من جديد (إخوان الصفا — القرن العاشر) حتى بدأ عهد النهضة الذى ازدهرت فيه كل العلوم ، وقد أنبتت كل هذه الأفكار والآراء والنظريات القديمة وأثمرت ودانت قطوفها فيما يختص بالعلوم الجيولوجية فى بداية القرن الثامن عشر . ومن بين العلماء الذين اهتموا بالدراسات الجيولوجية : الجيولوجى الاسكتلندى جيمس هاتون ١٧٢٦ — ١٧٩٧ James Hutton ، وكانت نظريته « الحاضر هو مفتاح الماضى ، وأن القوى التى تعمل حاليا على سطح الارض كانت كذلك تعمل دائما باستمرار خلال جزء كبير من التاريخ الجيولوجى » كما استطاع هاتون توضيح أن الحجر الجيرى والحجر الرملى والحجر الطينى الصفحى يمكن أن يتكون ويترسب بفعل المياه . وفى علم المعادن والتعدين ظهر العالم الالمانى أبرهام فيرنر (١٧٥٠ — ١٨١٧ — جامعة فرايبورج) Abraham Werner . وفى فرنسا نهضت دراسة الحفريات على يد العالم جان دى لامارك (١٧٤٤ — ١٨٢٩) Jean de Lamarck أما وليامز سميث (١٧٦٩ — ١٨٣٩ — إنجلترا) Williams Smith فقد أسس علم طبقات الارض وتمكن من ترتيب الصخور الطبقية (الرسوبية) ترتيباً تاريخياً بالإستعانة بمحتوياتها الحفرية ، وذلك عن طريق الشاهدات الحقلية الواقعية . وبظهور داروين Darwin (١٨٠٨ — ١٨٨٣ ، إنجلترا)

ودراساته العميقة المستفيضة ونظرياته فى التطور ، فتح البـاب على مصراعيه لتفهم العلوم وكيف تم التطور البطىء التدريجى حسب قوانين طبيعية محدودة فى كل من العـالم العضوى وغير العضوى على مر الأحقاب الجيولوجية الطويلة المتعاقبة .

بعد هذه المقدمة التاريخية الموجزة لنمو علم الأرض وقبل البدء فى دراسة ماهية الأرض وجب الإلمام بموجز عن أصل الأرض وكيفية نشأتها ، وأهم النظريات التى تفسر طريقة تكوينها ونشوئها .

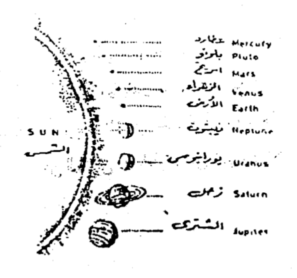
الباب الأول

نشأة الأرض ومكوناتها

(بقلم الشناوى)

الأرض هى أحد الكواكب الطبيعية التسعة التى تدور حول الشمس ؛ وتكون الشمس (الكوكب الأم) وتوابعها التسعة — بما فيها كوكبنا هذا «الأرض» — والأقمار التابعة لكل من هذه الكواكب التسعة وكذلك مايقرب من ألف كوكب صغير وكثير من النيازك والمذنبات ، ما يعرف بالمجموعة الشمسية . ويمكن تقسيم أفراد المجموعة الشمسية ، حسب الحجم وكذلك حالة مكونات كل منها ، إلى مجموعتين :

١) مجموعة الكواكب الصغيرة وتشمل عطارد Mercury ، الزهرة Venus ، الأرض Earth ، المريخ Mars ، وطبيعة كل منها صلبة بصفة عامة كطبيعة الأرض .



(شكل ١) يوضح النسبة بين أحجام الكواكب التسعة والشمس

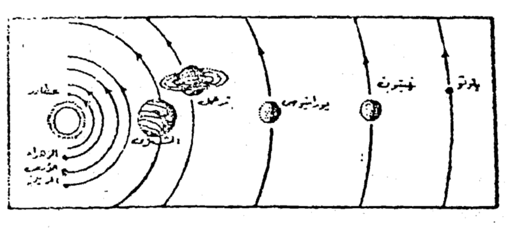
ب) مجموعة الكواكب الكبيرة وتشمل المشترى Jupiter ، زحل Saturn ، يورانيوس Uranus ، نبتيون Neptune وهذه الكواكب كبيرة الحجم وفى حالة غازية مثل الشمس (شكل ١ ، ٢) .

أما الكوكب التاسع بلوتو Pluto ، وقد تم اكتشافه حديثا ، فهو أبعد الكواكب عن الشمس وهو أقرب فى حجمه إلى حجم الكواكب الصغيرة ويظهر أنه فى حجم الأرض تقريبا ويعتقد أنه فى حالة صلبة .

ولكل من هذه الكواكب مدار دائرى تقريبا يدور فيه حول الشمس حسب نظام معين ثابت . وتعنى كلمة الأرض بصفة عامة الكوكب الذى نعيش عليه بما يشمله من يابسة وماء وما يحيط به من هواء . وتحتل الأرض مكانة وسطى بين الكواكب الأخرى من حيث حجمها وبعدها عن الشمس ، فهى مثلا أكبر الكواكب الصغيرة إذ يبلغ قطرها ٨٫٠٠٠ ميلا بينما يبلغ قطر عطارد ٣٫٠٠٠ ميلا والمريخ ٤٫٢٠٠ ميلا أما الكواكب الكبيرة فانها تفوق الأرض حجماً إذ يبلغ قطر كوكب المشترى ٨٨٫٦٠٠ ميل وزحل ٤٧٫١٠٠ ميل . وتبعد الأرض عن الشمس بمقدار ٩٣٫٠٠٠٫٠٠٠ ميلا بينما يقدر بعد عطارد عن الشمس بما يعادل ثلث هذه المسافة ، وبعد المشترى بخمسة أضعاف هذه المسافة ، وأما نبتيون فانه يبعد عن الشمس بمسافة تساوى قدر بعد الأرض عن الشمس ثلاثين مرة .

ويبلغ الوزن النوعى للأرض ما يقرب ٥٫٥ وتقل هذه القيمة قليلا بالنسبة لعطارد والزهرة والمريخ ، بينما تقل كثيراً بالنسبة للكواكب

الكبيرة (لكبر حجمها وحالتها الغازية) ، ويبلغ الوزن النوعي للكوكب زحل ما يقرب من ٠٫٧٢ وهو أقل وزن نوعى بالنسبة لجميع الكواكب الأخرى.



(شكل ٢)

يبين البعد والحجم النسبى بين الكواكب التسعة فى مداراتها حول الشمس

نشأة الكرة الارضية

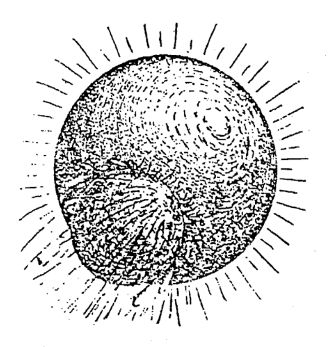
تقدم كثير من علماء الجيولوجيا والفلك والرياضة والطبيعة بنظريات مختلفة عن نشأة الأرض . وقد يصعب الوصول إلى تفسير موحد فى هذا الشأن حيث أن كل النظريات تعتمد أساساً على الظروف والقوانين الطبيعية كما نعرفها حالياً . ويعلم الله كيف كانت ظروف الطبيعة فى الأزمان السحيقة منذ بلايين السنين عندما نشأت الأرض . ومع ذلك لم يأل العلماء جهداً فى وضع نظرياتهم — ولو أنها افتراضية — فى محاولة الوصول إلى تفسير معقول ومقبول لنشأة الأرض . ومما هو جدير بالذكر حقاً أن تتفق كل النظريات على أن الشمس هى « أم الكواكب » وإن اختلفت النظريات فيما بينها فى تفسير طريقة النشأة أو كيفية ميلاد

الأرض . والسؤال الحائر الان : من كان الأب ؟ كيف تم هذا الحدث ؟ أى ميلاد الأرض .

كانت أولى المحاولات للاجابة على هذا السؤال الغامض منذ قرنين عند ما تقدم العالم الفرنسى جورج لويس ليكليرك « كوميت دى بفون » Georges . Louis Leclerc- (Comet de Buffon) بدراساته فى التاريخ الطبيعى (فى ٤٤ مجلداً) ، وصف فيها تكوين الكواكب بأنها نتيجة إصطدام عنيف بين الشمس وأحد الأجرام السماوية الضخمة (شكل ٣) والتى أطلق عليها بفون لفظ كوميت Comet ومعناها نازك (ولم تكن صفات النيازك معروفة فى ذلك الوقت ولكن كان بفون يعنى بهذا اللفظ جرما سماويا ضخم الحجم) . ومن الطبيعى أن ينتج عن هذا الاصطدام بين الأم والنجم الزائر إنفصال وتطاير كتل مختلفة من كل من الأبوين كما اتخذت المجموعة كلها حركة دوران سريعة ، ومن المحتمل أن بعض الكتل الناتجة قد فقدت إلى الأبد أو هربت بينما ظلت بعض الكتل الأخرى – تحت تأثير قوة الجذب بينها وبين الأم – فى حركتها المستمرة حول الشمس فى هيئة كواكب مستقلة ، وهذا يفسر بصفة عامة دوران كل الكواكب فى نفس المستوى تقريبا وفى الاتجاه العام لدوران الشمس حول محورها .

كانت هذه النظرية موضع نقد شديد من جانب العالم الرياضى الفرنسى بيير سيمون – ماركيز دى لابلاس – ١٧٩٦ – بعد وفاة بفون بثمانية أعوام) Pierre Simon , Marquis de Laplace ، وكان وجه

النقد ينصب على أن المواد المتطايرة التى انفصلت عن الشمس نتيجة الاصطدام لابد وأن تدور فى مدار بيضاوى كبير الاستطالة ، بينما تتخذ الكواكب — كما نعرفها حاليا — مدارات دائرية تقريبا .



(شكل ٣) بين فكرة استصدام الشمس ونجم سائر (عن بفون)

تقدم لابلاس بنظرية جديدة — النظرية السديمية أو الحلقية Nebular (Ring) Hypothesis ، وقد تبنى لابلاس نظريته هذه عن أفكار وأراء الفيلسوف الألمانى إيمانويل كانت Immanuel Kant فى دراساته لتعليل مشاهدته حلقات حول الكوكب زحل Saturn

إفترض لابلاس أن الشمس كانت عبارة عن كتلة كروية ضخمة من الغازات ذات درجة حرارة عالية جدا وذات قطر أكبر من قطر المجموعة الشمسيه بأكلها . كما افترض أن الشمس كانت فى حركة دائرية

منذ البداية وأن اتجاه دورانها هو نفس اتجاه دوران الكواكب الحالية .

وقد كان مضطرا لهذا الافتراض حيث أنه انتقد فكرة حركة الدوران الناتجة من الإصطدام بين الشمس والنجم الزائر فى نظرية بفون . وأساس النظرية السديمية أن الشمس بمفردها هى التى أنتجت كل كواكب المجموعة الشمسية نتيجة إنفجار داخلى قاس أدى إلى إنفصال الأجزاء الخارجية منها على هيئة حلقات ، بعدما تعرضت هذه الكتلة السديمية Nebula أى الكتلة الشمسية للانكماش التدريجى نتيجة فقدان جزء كبير من حرارتها عن طريق الإشعاع ، وتبع ذلك زيادة فى سرعة حركتها الدائرية . وتصور لابلاس إنفصال حلقات غازية من الكتلة السديمية حينما تعادلت القوة الطاردة المركزية مع قوة الجذب ناحية المركز ، ثم اتخذت هذه الحلقات حركة الدوران فى مدار دائرى حول الأم ، وبانفصال حلقة تلو الأخرى كانت تزداد سرعة الكتلة الأصلية وفقدان حرارتها وإنكماشها حتى أمكن انفصال تسع حلقات كونت كل منها كوكبا مستقلا يدور فى مدار دائرى حول الجسم المركزى « الشمس » وكان أول الكواكب وأبعدها عن المركز هو بلوتو وكانت الأرض هى سابع كوكب ينفصل عن أمه الشمس .

وتكررت نفس العملية بالنسبة لكل من هذه الكواكب وانفصلت منها حلقة أو أكثر مكونة بذلك توابع Satellites أو ماتسمى بالأقمار Moons كما حدث أن أصبح القمر تابعا للارض . وباستمرار فقدان الحرارة والإنكماش وتغير ظروف الضغط بدأ تكثف الغازات الحارة مكونة بذلك الغلاف المائى على سطح الأرض(بأعتباره أحد الكواكب النسمة) بينما تجمعت





(شكل ٤) يبين منظران لكتلة سديمية كما تظهر فى مجموعة الدب الأكبر ، وتتكون من عدة بلايين من النجوم

بعض الغازات الأخرى التى لم تتكثف وكونت الغلاف الجوى ، وتجمد الجزء الباقى مكونا الغلاف اليابس .

بعد عمر طويل ــ ما يقرب من قرن من الزمان ــ تعرضت هذه النظرية لنقد شديد من العلماء فى الرياضة والطبيعة والفلك ــ فليس هناك سبب معقول لإفتراض أن الإنكماش فى كتلة دائرة يؤدى فقط إلى عدد صغير نسبيا من حلقات غازية سميكة لتكون الكواكب التسعة ، وكان من المتوقع أو المحتمل أن يتكون عدد ضخم جداً من الحلقات الرقيقة تنتشر وتملا المستوى الذى تدور فيه الكواكب . وحتى لو قبل أو صح هذا الإفتراض فكيف يمكن البرهنة على أن كلا من هذه الحلقات الغازية قد تجمدت على هيئة أجسام كروية ؟ وقد برهن عالم الطبيعة الإنجليزى جيمس كليرك ماكسويل James Clerk Maxwel فى دراساته على الحلقة التى تحيط بالكوكب زحل Saturn أن مثل هذه الحلقات الغازية غير مستقرة بل أنها تتجزأ إلى عدد كبير من الأجسام الصغيرة

وتنتشر فى مدار دائرى بدلا من أن تتحد لتكون كوكبا واحدا . فمثلا إستطاع كليرك أن يحسب أن الحلقة الغازية التى إفترض لابلاس أنها كونت كوكب المشترى Jupiter قد تتهشم - إن وجدت - وتتجزأ إلى خمسين جسما منفصلا تنتشر فى مدار المشترى دون أن تظهر أى ميل للاتحاد مع بعضها . والعقبه الرئيسية فى نظرية لابلاس هى توزيع الحركة بين الكواكب والشمس نفسها ، إذ حسب الفلكيون أنه من غير الممكن أن تتمكن مثل هذه الحلقات المنفصلة من الشمس بقوة الطرد المركزية من التقاط هذه النسبة العالية من مجموع الحركة الدورانية Rotational momentum للمجموعة الشمسية . هذا بجانب صعوبات أخرى ، فمثلا افتراضه أن التبريد كان تدريجيا غير محتمل حيث تدل المعلومات الجيولوجية على أن فترات جليدية كانت تتخلل فترات دافئة أثناء نمو الأرض ، أما درجة الحراره التى افترض لابلاس أنها مكتسبة منذ البداية فيمكن إبعازها إلى النشاط الاشعاعى والتفاعلات الكيمائية فى باطن الأرض (باعتبارها أحد الكواكب) .

عندما تحطمت النظرية السديمية للابلاس عاد العلماء إلى التفكير فى نظرية بفون « نظرية نشأة الكواكب من أبوين نتيجة إصطدامها » ، وبعد تنقيح وتعديل وتطوير للفكرة الأساسية لهذه النظرية أدت دراسات بعض العلماء فى أوائل القرن الحالى - كل على حدة وفى نفس الوقت تقريبا - إلى الوصول إلى نظريات متقاربة إلى حد ما ومتفقة أساسا مع فكرة بفون .

ومن بين هؤلاء العلماء : العالمان توماس تشيمبرلين Thomas Chemberlin وهو جيولوجى أمريكى ، والعالم الفلكى الامريكى فورست مولتون Forest Molton فى شيكاغو . وكذلك العالمان الانجليزيان : الفلكى سير

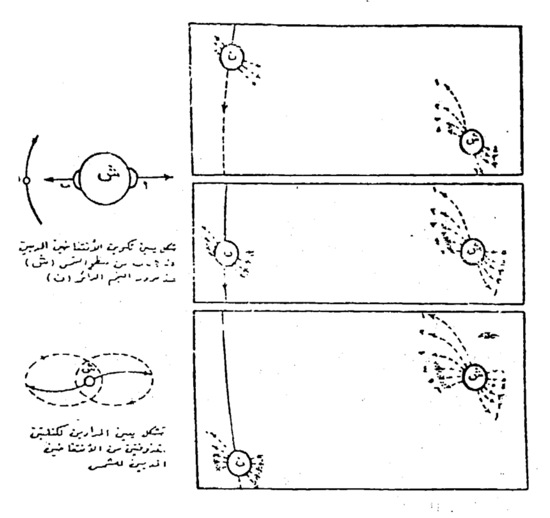
جيمس جينز Sir James Jeans وعالم الطبيعة الأرضية هارولد جيفرى . Harold Jeffrey

وتتفق كل من نظريتى تشيمبرلين – مولتون ، وجينز – جيفرى فى أن الكواكب نشأت نتيجة زيارة جسم كونى غريب للأم – الشمس – ولكنهم لم يقبلوا بل أهملوا فكرة التصادم المباشر بين الأبوين . وبذلك عدلت نظرية بتون على أساس أن كواكب المجموعة الشمسية تكونت نتيجة حدوث إنتفاخ مدى ضخم لسطح الشمس نشأ من قوة الجذب الهائلة الصادرة من نجم سائح فائق السرعة أثناء مروره بالقرب من الشمس. والسبب فى افتراض حدوث الانتفاخ المدى الجذبى بين الأبوين بدلا من التصادم المباشر هو أن فكرة تقارب نجمين أثناء حركتها أكبر إحتمالا من فكرة تصادمها .

نظرية الكويكبات (تشمبرلين – مولتون) Planetesimal Hypothesis

افترض هذان العالمان أن الكتلة الشمسية الضخمة كانت تتكون فيما مضى من جزيئات منفصلة سميت كويكبات Planetesimals يدور كل منها فى مدار خاص به حول كتلة صغرى مركزية – هى التى كونت الشمس فيما بعد – تتوسط هذه الكتلة الشمسية الضخمة ، وقد كان مدار وحركة هذه الكويكبات يعتمد على مدى سرعتها وقوة التجاذب المشتركة بينها . كما افترضا كذلك أن نجما كبيراً سائحا فى مداره سائراً بسرعة فائقة كان قد مر بالقرب من الشمس منذ عدد قليل من بلايين السنين ، وأن حجم هذا النجم الزائر لابد وأنه كان من الضخامة بدرجة سمحت له بإحداث قوة جذب كافية سببت حدوث إنتفاخات مدية على سطح الشمس — فى كل

من الإتجاه المقابل للنجم الزائر والاتجاه المضاد له — هذا علاوة على أن الشمس كانت قد تعرضت لقوى فاذة أدت إلى إنفجارات عنيفة فى اتجاه الانتفاخات المدية (شكل ٥) . وتوضح بعض الحقائق عن كتلة وتكوين



(شكل ٥) بين نظام تكون الكواكب من مواد شمسية متطايرة نتيجة قوة جذب من نجم زائر — النقط تبين المواد الشمسية المقذوفة — الخطوط المتقطعة تبين إنحراف مسار المواد الشمسية المقذوفة تحت تأثير جاذبية النجم الزائر — المواد المتطايرة هى كويكبات (الشمبرلين — مولتون) أو مجرات غازية (جينز — جيفرى) .

الـكواكب - بما فيها الشمس - أنه حتى لو كان النجم الزائر فى أقرب وضع له بالنسبة للشمس على مسافة عدة بلايين من الأميال فان قوة الجذب المركزية فى الشمس نفسها لا بد وأن تضعف لدرجة يتحتم فيها حدوث مثل هذه الانفجارات فى الشمس فى اتجاه النجم الزائر والإتجاه المضاد له . وكانت الاضطرابات والانفجارات تبدأ وقت اقتراب النجم من الشمس وتصل إلى أوجها عند أقرب وضع لها ، ثم تتلاشى عندما يبتعد النجم سابحا فى الفضاء . وبتغير وضع النجم الزائر في مداره بالنسبة للشمس ، تتابعت القذائف من الشمس وتطايرت فى اتجاهات مختلفة وإنتشرت فى مستوى مسار النجم الأب . ومامن شك أن بعض هذه القذائف سقطت ثانية على سطح الشمس ، ولكن حركة الشمس والإنحراف الناتج من قوة جذب النجم الزائر قد أدت إلى دوران الكتل المقذوفة فى مدارات اهليلجية أى بيضاوية حول الشمس .

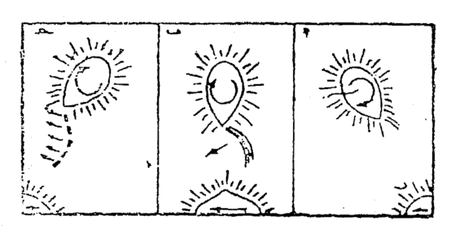
وقد فسر تشيمبرلين - مولتون إنتظام المواد الشمسية المقذوفة فى أجسام كوكبية معينة وإتخاذها حركة دورانية فى مدارات دائرية - كما نراها حاليا - بأن افتراضا وجود نويات كوكبية كبيرة الحجم نسبيا إستطاعت أن تجتذب اليها الأجسام الشمسية المقذوفة والتى تصغرها حجما ، وقد أطلقوا على هذه الجسيمات إسم كويكبات Planetesimals ، وبتساقط هذه الكويكبات على أى من النويات الكوكبية إزداد حجم الأخيرة وإستطاعت أن تجتذب وتكتسح كل الكويكبات الأخرى التى تصادف طريقها وتعترض مدارها ، وقد ساعد تساقط هذه الكويكبات على أى من النويات الكوكبية - بجانب الزيادة فى الحجم - على إنتظام دورانها فى مدارات دائرية .

وعلى أساس نظرية الكويكبات يمكن تصور بداية تاريخ الارض أنها نتجت عن إنفصال كتلة من الشمس عند مرور النجم الزائر : وكانت هذه الكتلة فى بداية الأمر عبارة عن حشد كثيف من أجسام سائلة وصلبة نتجت من تكثف بعض المواد الشمسية المقذوفة ، ثم تركز هذا الحشد الكثيف فى كتلة متماسكة وذلك بارتطام جزيئات هذا الحشد بعضها وتلاشى طاقتها الكامنة وترسبها نحو المركز ، وبذلك تكونت النواة الكوكبية للارض ، ثم أخذت هذه النواة فى النمو بتجميع كويكبات جديدة ونتج عن ذلك إزدياد فى الحجم وقوة الجاذبية والضغط والحرارة فى الداخل مما أدى إلى إنطلاق بعض الغازات مثل بخار الماء والأكسجين وتكوين غلاف غازى ، تكاثف بعضه ليكون الغلاف المائى وبقى البعض الآخر ليكون الغلاف الجوى للارض ، وبازدياد البرودة تجمد السطح الخارجى للأرض وتجعد مكونا بذلك منخفضات واسعة غمرتها المياه الناتجة من تكاثف بخار الماء ونشأت بذلك مواقع المحيطات والبحار الأولى .

اعترضت نظرية الكويكبات بعض الصعوبات ، منها أنه ـ حسب النظرية ـ ليس من الضرورى إفتراض أن الأرض (باعتبارها أحد الكواكب) كانت قد مرت بحالة إنصهار ، علماً بأن هناك أدلة واضحة تثبت أن الارض كانت فى حالة إنصهار مما أدى إلى تكوين نواة معدنية مركزية ثقيلة الوزن النوعى يحيط بها طبقات متراكزة من مواد مختلفة أقل كثافة من سابقتها . والإعتراض الأهم هو أن تساقط الكويكبات على النويات الكوكبية لايحتمل أن يؤدى إلى انتظام الكواكب فى مدارات دائرية ، بل على العكس فان إحتمال ارتطام مثل هذه الكويكبات ببعضها —

إذا كانت قد وجدت ـ قد أدى إلى تجزئتها وتحولها إلى غازات نتيجة للحرارة الناشئة من الإرتطام .

وبسبب هذه الإعتراضات تقدم سير جيمس جينز وهارولد جيفرى بنظرية جديدة هى النظرية الغازية Gaseous Hypothesis إفترض . هذا العالمان وجود مجرات طويلة من مواد غازية متوهجة كإشعاعات تحيط بالشمس (شكل ٦) وأن الكواكب نشأت نتيجة انقسام هذه

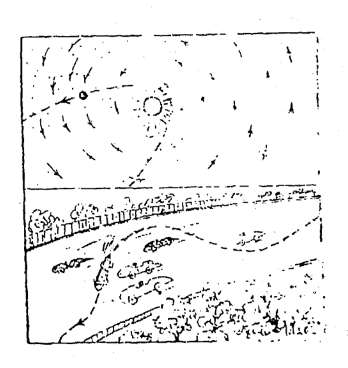


(شكل ٦) يبين فكرة نظرية (جينز) تكوين المجرات الغازية التى تنفصل من الشمس ثم تتجزأ إلى قطع تنحرف وتتخذ مدار النجم الزائر

المجرات الغازية إلى قطع كروية تحت تأثير قوة الجذب الناتجة من نجم زائر مر بالقرب من الشمس ـ تماما كما يحدث لخيط رفيع من الماء يتساقط من صنبور أن ينفصل فى نقط ـ وقد أدى انفصال هذه الكريات الغازية إلى حرمانها من حرارة الام (الشمس) وتعرضت بذلك لبرودة الفراغ فلم تستطع هذه الكريات الشمسية أن تحتفظ بتوهجها وحرارتها ، وأدى ذلك إلى انكماشها ، وإنفصال المواد المكونة لهذه الكريات الشمسية إلى مكوناتها المختلفة ـ كما يحدث تماما لسبيكة معدنية فى

فرن ـ حيث ترسبت المواد الثقيلة فى المنطقة المركزية للكريات الشمسية بينما طفت المواد الخفيفة نسبيا (السيليكا) وتجمعت على السطح لتكون القشرة الخارجية للكواكب .

وهذه النظرية ـ النظرية الغازية ـ تفسر التعليل الوحيد لكيفية استدارة مدار الكواكب الذى بدأ فى أول الأمر اهليلجيا كبير الاستطالة ، وذلك بافتراض أن الفراغ الذى كانت تتحرك فيه الكريات الشمسية ، أو الكواكب فى بداية الأمر ، كان مشحونا بوسط مقاوم متجانس الانتشار فى هيئة غلاف غازى يحيط بالشمس (شكل ٧) وأن هذا الغلاف الغازى يدور فى نفس الاتجاه العام لحركة دوران الكواكب . ووجود مثل هذا الغلاف الغازى كبير



(شكل ٧) يوضح كيفية إتخاذ الكواكب (وكذلك السيارات) الإتجاه العام للحركة .

الاحتمال حيث أن بعض مواد المجرات الغازية التي جذبها النجم السائر بعيداً عن الشمس لم تكن قد تكاثفت وظلت منتشرة حول الشمس

فلو أن مدار الكواكب كان أصلا دائريا فان هذا الغلاف الغازى لايكاد يؤثر على حركة الكواكب لان كلا من الكواكب وجزيئات الغاز تنحرف فى مدارات متوازية . ولكن المدار الأصلى الإهليليجى للكواكب سبب تحركها عبر مسار الغلاف الغازى وأدى ذلك إلى مايشبه ظاهرة سيارة تتعرج فى طريقها عبر حلبة سباق دائرية (شكل ٧) ، ومثل هذه الحركة فى وسط الغلاف الغازى الذى يحيط بالشمس أدى إلى ارتطام الكواكب بجزئيات الغاز المقاومة مما اضطر الكواكب فى النهاية إلى أن تجد طريقها فى المدار الأقل مقاومة وهو المدار الدائرى للغلاف الغازى .

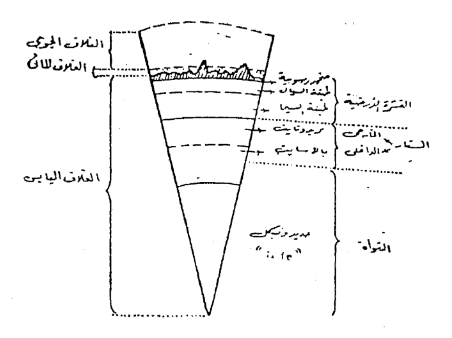
ومن الحقائق المعروفة عن حركة الشمس على محورها فى نفس المستوى ونفس الاتجاه لحركة الكواكب يمكن استنتاج أن هذه الحركة قد نتجت تحت تأثير التقارب بين الشمس والنجم الزائر ، ويمكن أن تكون قد نتجت عن احتكاك موجة المد الضخمة التى اجتاحت سطح الشمس وقت مرور النجم الزائر بها . أو أنها حدثت بعد ذلك عند انطلاق أجزاء من المواد الشمسية وبدأت في الدوران تحت تأثير جذب النجم الزائر ، ثم سقوطها مرة أخرى على الأم (الشمس) مما أدى إلى دورانها كذلك . وبعد دراسة عميقة استطاع جيفرى أن يبرهن على أن كلا من هذين السببين لا يمكن أن يؤدى إلى حركة دوران الشمس بسرعتها الحالية ، ولذلك فقد اقترح جيفرى أن النجم الزائر كان أقرب للشمس بدرجة سمحت له بملامسة سطح الكتلة الشمسية (كمرشاه تحتك

بملبس لتنظيفه) مما أدى إلى خدشها وتطاير أجزاء المواد الشمسية واتخاذها حركة دوران الأب ، وهـــذا الاقتراح - إن صح - يرد بنا إلى أساس نظرية بفون (نظرية الاصطدام) .

وقد تقدم حديثا كثير من العلماء في أوربا وأمريكا (من بينهم ألفين Alfven ١٩٤٢ ، بيرلاج ١٩٤٠ ، نيرهار ١٩٤٠ Ter Haar فايستزاكر Weiszacker ١٩٤٤ ، Wh... — صاحب نظرية السحاب الغازى ...st cloud hypothesis بنظريات جديدة تعتمد أساسا على تكثف الغازات ... من غلاف عظيم الانتشار يحيط بالشمس . وباستخدام المعلومات ... الطبيعة وما يتصل بها من مغناطيسية وتكثيف الأبخرة الحارة ذات ... ودرجات الحرارة المتفاوتة ، تبلورت أفكار جديدة وتفسيرات معقولة ... سليمة لخواص الكواكب وتوابعها . ويعتقد أنه من ... الأفكار في نشأة الأرض وتطور المجموعة الشمسية إلى الاتجاه ... القديمة التي تقـــدم بها (كانت Kant) ولابلاس .

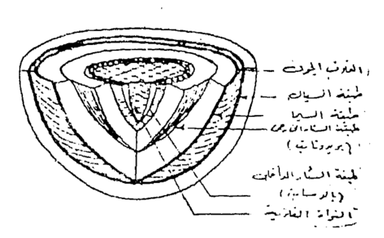
اغلفة الكرة الارضية

من المعروف أن الكرة الأرضية تتكون من مواد متباينة ، فمنها ما هو في حالة غازية ومنها ما هو في حالة سائلة أو صلبة . ولتبسيط الدراسة يمكن التعرف على ثلاثة أجزاء رئيسية طبيعية لمكونات الأرض كما يلي (شكل ٨ ، ٩) :—



(شكل ٨) قطاع تخطيطى يوضح أغلفة الكرة الارضية ، والطبقات المتراكزة المكونة للغلاف الصخرى .

أولا) الغلاف الجوى Atmosphere : هو هذا الجزء الغازى الذى يحيط بالكرة الأرضية إحاطة تامة ويمتد على الاقل إلى ما يقرب من ٢٥٠ ميلا من سطح الارض ، ونسبة وزنه إلى وزن الارض تعادل ١ : ٢٠٠٠٠٠٠ وتقل كثافة هذا الغلاف الغازى كلما إبتعدنا عن سطح الأرض ، ويبلغ متوسط ضغطه عن سطح البحر ما يعادل ١٤٫٧ رطل على البوصة المربعة (= ٧٦سم / زئبق) . ويتكون هذا الغلاف من خليط من النيتروجين والأكسجين بنسبة ٤ : ١تقريبا (٧٩٫٤ : ٢٠٫٦ ٪) ، هذا بالإضافة إلى كميات صغيرة من الأرجون والأمونيا وغازات كبريتية وبخار الماء وثانى أكسيد الكربون بجانب بعض الأبخرة الاخرى والأتربة البركانية . وقد أمكن التعرف على ثلاث نطاقات رئيسية فى الغلاف الجوى هى ، من أسفل



(شكل ٩) يبين الطبقات المتراكزة المكونة للغلاف الصخرى

إلى أعلى : تروبوسفير Troposphere ، ستراتوسفير Stratosphere ، أيونوسفير Ionosphere ، وذلك على أساس نوع ونسبة الغازات السائدة ، وإتجاه حركة هذه الغازات ، ومتوسط درجة الحرارة ومعدل تغيرها فى كل من هذه النطاقات .

ومن المعتقد أن تركيب الغلاف الجوى كان مختلفا فى العصور الجيولوجية القديمة عن تركيبه الحالى وخاصة فى نسبة الأكسجين وثانى أكسيد الكربون ، ويمكن الاستدلال على هذا الاختلاف فى التركيب من النسبة العالية لعنصر الأكسجين الداخل فى تكوين صخور القشرة الارضية وكذلك من كمية الرواسب الفحمية التى تكونت من الغابات الكثيفة التى كانت منتشرة فى تلك الأزمنة الغابرة فى كثير من أنحاء الارض .

ولهذا الغلاف الجوى أهميته الجيولوجية من حيث نشاطه الكيمائى والطبيعى الذى يؤثر تأثيراً فعالا على سطح الأرض ، إذ يؤكسد الأوكسجين المعادن والصخور التى تكون القشرة الأرضية مكوناً بذلك مواد جديدة ، كما أن ثانى أكسيد الكربون القابل للذوبان فى الماء يكسبه قدرة ظاهرة على إذابة

بعض الصخور وخاصة الجيرية منها . أما عن النشاط الطبيعى لهذا الغلاف فيكفى التنويه إلى عمل الرياح الذى يساعد فى تفتيت صخور القشرة الأرضية وكذلك حملها ونقلها من مكان لآخر ، ويمكن تلخيص العمل الجيولوجى لهذا الغلاف الجوى فى أنه عمل هدام للسطح الخارجى للقشرة الأرضية فى وقت نشاطه فى مكان ما فى حين أنه عمل بنائى فى نفس الوقت فى مكان آخر .

ثانياً) الغلاف المائى Hydrosphere : يتكون هذا الغلاف من مياه المحيطات والبحار والبحيرات والأنهار، أى أنه يشمل كل مجارى المياه السطحية، وكذلك المياه الموجودة تحت سطح الأرض والمعروفة بالمياه الجوفية التى تتخلل الصخور المسامية وتتسرب خلال الشقوق والفجوات فى الصخور الأخرى إلى عمق قد يصل إلى آلاف الأقدام من سطح الأرض.

ويغطى الغلاف المائى ما يقرب من ثلاثة أرباع سطح الكرة الأرضية ، ويختلف نوع المياه من مكان لآخر فى هذا الغلاف وذلك تبعاً لكمية الأملاح الذائبة فيه، فتزداد درجة الملوحة فى البحار المقفولة عنها فى البحار المفتوحة وهذه أكبر بقليل من درجة الملوحـــة فى المحيطات وذلك حسب كمية كلوريد الصوديوم الموجودة فى كل منها ، فى حين أن مياه الأنهار عذبة إذا ماخلت من هذا الملح ولكن أحيانا تكون فى حالة وسط بين الملوحة والعذوبة (دلعة أو ماسخة Brackish) وخاصة عند تقابل مياه الأنهار والبحار عند المصبات ، ويحتوى ماء البحر على كميات متفاوتة من الأملاح المذابة ، منها كلوريد الصوديوم وكلوريد الماغنسيوم ، ومن الكبريتات : كبريتات الماغنسيوم والكالسيوم والبوتاسيوم ثم كربونات الكالسيوم . والمعروف أن

كربونات الكالسيوم الموجوده فى مياه البحار ذات أهمية جيولوجية خاصة رغم أن كميتها لا تتعدى ٠٫٠٣٤ ٪ من كمية الأملاح الاخرى ، فقد تستعملها الحيوانات البحرية لبناء الهياكل العظيمة الخاصة بها من أصداف ومحارات أو أغلفة وقشور لها ، وتؤدى هذه الهياكل العظيمة — بعد موت الكائنات الحية الحاوية لها — إلى تكوين الطبقات الرسوبية الجيرية بتراكمها فوق بعضها فى قاع البحار والمحيطات

ولا يمكن إهمال الأثر الجيولوجى للغلاف المائى على سطح القشرة الأرضية بل وماتحت السطح ، فالمياه عامل هدام إذ أنها تفتت الصخور وتحملها من مكان لآخر مثل تأثير الأمطار والسيول الجارفة والأمواج الصاخبة على سطح القشرة الأرضية ، ومن ناحية أخرى فان لهذا الغلاف عمل بنائى إذ أن المياه تحمل وتنقل المواد التى سبقت أن هدمتها وكسرتها وفتتتها ثم ترسبها فى أماكن أخرى وبذلك تحتفظ القوى الطبيعية دائما بالتوازن فى عملها وتأثيرها على سطح القشرة الأرضية وكذلك فى باطنها .

يختلف عمق الغلاف المائى السطحى من مكان لآخر اختلافا واضحا ، وقد قدر أعظم عمق — عرف حتى الآن — لهذا الغلاف بستة أميال تقريباً بالقرب من إحدى جزائر الفلبين. وتتكون أعمق الأماكن لهذا الغلاف فى شكل أحواض ضيقة طويلة تسمى أعماق Deeps وغالبا ما توجد بالقرب من القارات أو حول أقواس الجزر وخاصة فى المحيطين الهادى والهندى .

ثالثا) الغلاف الصخرى Lithosphere : يشمل هذا الغلاف الجزء الصخرى الصلب (وكذلك المنطقة المركزية الرخوة ؟) من الارض ، ويغمر الغلاف المائى مايقرب من ثلاثة أرباع هذه اليابسة فلا يظهر منها إلا مايكون القارات فقط .

وقد أدت الدراسات الجيولوجية والطبيعية إلى أن اليابسة تتكون من طبقات متراكزة Concentric shells تحيط بنواة مركزية Central core وأن هذه الطبقات تتكون من مواد مختلفة ويحتمل أن تكون فى حالات ... مختلفة ، ويمكن تقسيم الغلاف الصخرى إلى :-

١ - القشرة الارضية Earth crust : وتتكون من طبقتين متراكزتين تتميز الطبقة الخارجية منها بصخور خفيفة نسبياً أى ذات وزن نوعى صغير - مثل صخور الجرانيت - كما أنها تشمل الصخور الرسوبية . وأهم مكونات صخور هذه الطبقة هى السيليكا (اكسيد السيليكون) والالومينا (أكسيد الألومنيوم) ولذلك يطلق عليها اسم سيال Sial نسبة إلى الأحرف الاولى من مكوناتها الأساسية . ويتراوح سمك هذه الطبقة بين ١٠-١٥ كيلو مترا ،ويبلغ متوسط الوزن النوعى لصخورها ٢٫٧ ، وغالبا ماتكون فاتحة اللون لازدياد نسبة السيليكا والألومينا بها (أكثر من ٦٠ ٪) .

أما الطبقة الداخلية من القشرة الارضية فتتكون عادة من صخور داكنة اللون ، ثقيلة نسبيا إذ يبلغ وزنها النوعى ما بين ٢٫٩ ، ٣٫٤ وذلك لنقص نسبة السيليكا حيث تقل بكثير عن سابقتها وتتراوح مابين ٤٠ ، ٥٠ ٪ من مجموع مكونات هذه الطبقة ، وتلى السيليكا فى الاهمية فى هذه الطبقة مركبات الماغنسيوم (الماغنيزيا) ولذلك تعرف بطبقة سيما Sima ، ويتراوح سمك الطبقة الداخلية للقشرة الارضية مابين ٢٠ إلى ٥٠ كيلو مترا .

وقد استنتج العلماء أن الأجزاء السطحية من القارات تتكون من طبقة السيال أى الصخور الجرانيتية وما يعادلها ، وكذلك الصخور الرسوبية الطبقية ، بينما تتكون جذور هذه القارات من السيما الثقيلة الوزن . وتكون صخور السيما

كذلك قاع المحيطات كما هو الحال فى المحيط الهادى حيث لاتوجد طبقة السيال ولكن توجد هذه الاخيرة فى طبقة رفيعة فى قيعان المحيطات الاخرى .

٢) الستار Mantle : يتكون هذه النطاق الذى يلى القشرة الأرضية من صخور أكثر قتامة فى اللون وأكبر كثافة وقاعدية من صخور السيما وذلك لاحتوائها على نسبة أكبر من المركبات القاعدية (المركبات الحديدية والماغنيسية). ويوجد هذا النطاق على عمق يتراوح ما بين ٣٠ ، ٤٠ كيلومترا من سطح اليابسة ويقدر سمكها بما يقرب من ثلاثة آلاف كيلو متر (٢٩٠٠ كيلو متر) .

ويمكن التعرف على طبقتين مختلفتين فى نطاق الستار ، تفاوتان فى التركيب الكيميائى للصخور المكونة لكل منها ، حيث تزداد القاعدية وبالتالى قتامة اللون والكثافة من طبقة الستار الخارجية (طبقة البريدوتيت Peridotite (من أنواع الصخور فوق القاعدية Ultrabasic وتزيد كثافتها عن صخور السيما) وتعرف طبقة الستار الداخلية التى تتكون غالباً من خليط من المعادن القاعدية وفلز الحديد باسم بالاسيت Pallasite .

٣) النواة Core : وقد يسمى أحيانا وبصفة عامة جوف الارض Centrosphere وقد حار العلماء فى استنتاج حالة هذا الجزء المركزى للارض وخصائصه بين كونه نواة صلبة أو لزجة نصف شفافة أو سائلة ذائبة أو فى حالة غازية ، ولكن أجمعت الآراء على ثقله (حيث يصل وزنه النوعى الى ١٠) وشدة حرارته وقوة الضغط عليه .

وبالاستعانة بدراسة موجات الزلازل والمغناطيسية الأرضية ودراسة الشهب والنيازك أمكن استنتاج أن هذا الجزء من الكرة الأرضية يتكون أساسا من الحديد والنيكل وعلى ذلك فقد يسمى (نيفة ؟ Nife) . وبحساب بسيط يمكن

الاستدلال على الوزن النوعى لهذا الجزء من الأرض ، فقد أمكن للفيزيقيين حساب الوزن النوعي اللارض مقدراً : بأن الأرض تزن ستة آلاف مليون طن تقريبا (٥٫٩٨ × ١٠^٢٧ جرام) وحيث أن حجم الأرض ١٫٠٨٣ × ١٠^٢٧ سم فان ثقلها النوعى = ٥٫٥٢ فى المتوسط ، ومن المعروف أن كثافة القشرة الأرضية تتراوح بين ٢٫٧ — ٢٫٩ للسيال ، ٢٫٩ — ٣٫٤ للسيما كما أن كثافة الغلاف المائى تزيد بقليل عن واحد ، وبعملية حسابية يتضح أن كثافة جوف الأرض كبيرة تتراوح بين ٨ ، ١١ ومتوسط هذه الكثافة أكبر بقليل من كثافة الحديد وأقل من كثافة النيكل .

المكونات الاساسية للغلاف الصخرى

بعد دراسات مستفيضة وتحليلات كيمائية لمجموعات من أنواع الصخور من مناطق متباعدة توصل الباحثون إلى معرفة متوسط التركيب الكيمائى للقشرة الأرضية وقد وجد أن العناصر الثمانيه الآتية : الأكسجين ، السيليكون ، الألومنيوم ، الحديد ، الكالسيوم ، الصوديوم ، البوتاسيوم ، والماغنسيوم ، هى أكثر العناصر إنتشارا وتكون مايقرب من ٩٨ ٪ من العناصر الداخلة فى تكوين القشرة الأرضية . ووجد كذلك أن نسبة عنصر الاكسجين تقرب من ٤٧ ٪ من العناصر الثمانية الأساسية ، وأن نسبه السيليكون تصل إلى ٢٨ ٪ تقريبا، وأن هذه النسبة تقل بالتدريج من الألومنيوم (٨ ٪ تقريبا) الى الماغنسيوم الذى يتواجد بنسبه ٢ ٪ . ويبين الجدول التالى متوسط النسب المئوية للعناصر الأساسية المكونة للقشرة الأرضية .

التركيب فى صورة عناصر			التركيب فى صورة أكسيد		
العنصر	الرمز	النسبة المئوية	الاكسيد	الرمز	النسبة المئوية
الاكسجين	ا	٤٦٫٧١	—	—	—
السيليكون	س	٢٧٫٦٩	سيليكا	س ا$_{٢}$	٥٩٫٠٧
الالومونيوم	لو	٨٫٠٧	ألومينا	لو$_{٢}$ ا$_{٣}$	١٥٫٢٢
الحديد	ح	٥٫٠٥	أكسيد حديد	ح ا – ح$_{٢}$ ا$_{٣}$	٦٫٨١
الكالسيوم	كا	٣٫٦٥	جير	كا ا	٥٫١٠
الصوديوم	ص	٢٫٧٥	صودا	ص$_{٢}$ ا	٣٫٧١
البوتاسيوم	بو	٢٫٥٨	بوتاسا	بو$_{٢}$ ا	٣٫١١
الماغنسيوم	ما	٢٫٠٨	ماغنزيا	ما ا	٣٫٤٥
مجموع العناصر الثمانية		٩٨٫٥٨	... ...		٩٦٫٤٧
بقية العناصر الاخرى		١٫٤٢	... ...		٣٫٥٣

تتحد العناصر السبعة مع عنصر الأكسجين مكونة الأكاسيد المختلفة . وتعتبر هذه الاكاسيد هى الوحدات الكيمائية الأساسية التى تكون الصخور . ويتحد أكسيد السيليكون (سيليكا س ا$_{٢}$) الذى يتفاعل كأنه حامض مع الأكاسيد الفلزية (قاعدة) مثل الألومينا وأكاسيد الحديد ، الجير ، الصودا ، البوتاسا والماغنزيا ، وينتج عن هذا الإتحاد الكيمائى مايعرف بالسيليكات . وقد تتحد السيليكا مع أكثر من أكسيد قاعدى وتكون سيليكات ثنائية أو ثلاثية أو معقدة التركيب . وتعرف هذه المركبات الكيمائية التى تكونت بفعل العوامل الطبيعية نتيجة اتحاد السيليكا مع الأكاسيد القاعدية ، والتى تكون الصخور المختلفة فى القشرة الأرضية ، باسم معادن السيليكات . وهناك مركبات كيمائية تتركب من

عناصر أخرى غير السيليكا وتتكون بفعل العوامل الطبيعية ، فمثلا يتحد عنصر الحديد والاكسجين فى الطبيعة ويكون أكسيد الحديد ح٢ا٣ وهو معدن الهماتيت Hematite . وقد يتكون المعدن من عنصر واحد فقط ويسمى حينئذ بالمعدن العنصرى Native mineral مثل الذهب والماس والجرافيت .

تعريف المعدن : المعدن هو كل مادة صلبة غير عضوية ذات تركيب كيميائى ثابت ونظام بلورى مميز وتتكون بفعل العوامل الطبيعية .

يتضح من التعريف أن المواد العضوية ، أى المواد الناتجة من أصل حيوانى أو نباتى مثل زيت البترول والفحم ، لا ينطبق عليها تعريف المعدن ولو أنها تتكون بفعل العوامل الطبيعية . ويعنى التركيب الكيميائى الثابت للمعدن أن النسبة بين ذرات أو أيونات أو مجموعات العناصر المكونة له لا بد وأن تكون ثابتة (وإذا كان هناك تغير فيكون فى أضيق الحدود الممكنة - مثلا بسبب إحلال ذرة عنصر مكان ذرة عنصر آخر مكافىء له)، وأن يخضع هذا المركب لقوانين النسب الثابتة والمضاعفة بمعنى أنه يمكن التعبير عنه بقانون كيميائى، فمثلا معدن الهماتيت يتكون من عنصرى الحديد والأكسجين بنسبة ثابتة وهى ذرتين من الحديد لكل ثلاث ذرات من الأكسجين ح٢ا٣ ، وكذلك معدن الكوارتز Quartz يتكون من إتحاد ذرة واحدة من السيليكون وذرتين من الأكسجين وبذلك يصبح له القانون الكيميائى س ا٢ . ويتكون معدن أوليفين Olivine من عناصر الحديد والماغنسيوم والسيليكون والأكسجين وله القانون العام (ما ، ح)٢ س ا٤ ، فى مثل هذا القانون توجد نسبة ثابتة بين مجموع ذرات الحديد والماغنسيوم كوحدة وبين السيليكا كوحدة أخرى بمعنى إتحاد وحدتين من

(ما ، ح) مع وحدة من س ا ٤)، ويوضح هذا القانون أيضا أنه يمكن إحلال ذرة من الماغنسيوم محل ذرة من الحديد دون أن يحدث أى تغيير يتعارض مع قانون النسب الثابتة .

ينتج عن التركيب الكيميائى ذو النسب الثابتة نظام بلورى مميز ، أى ترتيب أيونات أو ذرات أو مجموعة ذرات العناصر المكونة له ترتيبا هندسيا داخليا مميزات فى إتجاهات ثلاث ، وغالبا ما يؤدى هـذا الترتيب الذرى الداخلى إلى تكوين مستويات أو سطوح تحدد الشكل الخارجى للمادة الصلبة والتى توصف حينئذ بأن لها شكلا بلوريا مميزا يتبع نظاما بلوريا أى تركيبا ذريا معينا .

يستنتج من ذلك أنه لا يكفى معرفة التركيب الكيميائى فقط لتحديد أو تمييز معدن عن آخر ، فقد يتفق معدنان أو أكثر فى التركيب الكيميائى ولكنها يختلفان فى كثير من الصفات الطبيعية والكيماوية وذلك لأن الترتيب الذرى الداخلى لكل من المعدنين يختلف إختلافا واضحا ، فمثلا يكون عنصر الكربون معدنين هما : الجرافيت Graphite ذو اللون الأسود ، والماس Diamond الذى لا لون له ، وشتان ما بين الصفات الأخرى فى كل منها ، وهذا الإختلاف الواضح بين المعدنين ما هو إلا نتيجة الإختلاف فى التركيب الذرى لكل منها . ومن ثم تظهر بوضوح أهمية دراسة مبادىء علم البلورات كمقدمة لمتابعة دراسة المعادن .

والجدير بالذكر أن معظم المعادن توجد فى الطبيعة فى حالة متبلورة Crystalline أى أن لها نظاما بلوريا مميزا ناتجا عن تركيب ذرى داخلى معين

كما توجد بعض المعادن فى حالة غير متبلورة Amorphous أى ينقصها التركيب الذرى الداخلى مثل معدن أوبال (أكسيد سيليكون غير متبلور Opal) ، وقد تتحول المعادن غير المتبلورة تلقائيا بمرور الزمن إلى مواد متبلورة .

ولا يجوز إطلاق لفظ المعدن على مخلوط كيميائى مهما كانت درجة تجانسه حتى ولو كان قد تكون بفعل العوامل الطبيعية أو كان ذا تركيب كيميائى ثابت ، فمثلا إحدى عينات معدن الكوراندوم المختلطة بأكسيد الحديد والتى تسمى إمرى Emery هى مادة غير عضوية تتكون فى الطبيعة ولها تركيب كيميائى ثابت تقريبا ، إلا أنه يمكن فصلها إلى مركبين كيميائيين مختلفين هما (لو٢ أ٣) وهذا هو القانون الكيميائى لمعدن الكوراندوم Corundum ، والمركب الآخر (ح٣أ٤) وهو القانون الكيميائى لمعدن ماجنيتيت (الحديد المغناطيسى) Magnetite ، ولهذا لا ينطبق تعريف المعدن على مثل هذه المخاليط الطبيعية . كذلك المواد أو المركبات الكيميائية التى صنعت وجهزت أو تكونت تحت عوامل غير طبيعية فلا ينطبق عليها تعريف المعدن ، فالصلب مثلا ولو أنه يصنع من خامات معدنية ظهرت بفعل العوامل الطبيعية إلا أن يد الإنسان قامت بتجهيزه وتدخلت فى إعداده ميكانيكياً وبذلك لا يعد معدنا ، وكذلك الحال بالنسبة للزجاج والاسمنت .

وتعتبر دراسة المعادن مقدمة أساسية لدراسة الصخور ، إذ أن الصخر بصفة عامة ما هو إلا مادة صلبة تتكون من معدن واحد أو من خليط لمعادن عديدة وتكون جزءاً أساسيا من القشرة الارضية . هذا علما بأنه توجد أيضا بعض الصخور التى تتكون من أصل عضوى (غير معدنى) مثل صخور

الفحم والصخور الجيرية العضوية الناتجة من تكدس بقايا الهياكل العظمية للكائنات الحية .

وحيث أن الغرض الأساسي من الدراسة الحالية هو الوصول إلى معرفة بعض الحقائق عن مكونات القشرة الأرضية ، فان مجال الدراسة هنا يستلزم مقدمة لمبادىء علم البلورات تتبعها دراسة مبدئية لعلم المعادن ، ثم دراسة مبسطة للصخور وأنواعها .

الباب الثاني

البلورات والمعادن

(بقلم الشناوى)

البلورات

يختص علم البلورات بدراسة المواد المتبلورة من حيث الشكل الخارجى للبلورات الكاملة النمو وعلاقة الأوجه البلورية بعضها ببعض، أى هندسة البلورات Crystal Geometry ، وكذلك خواصها الطبيعية المختلفة Crystal Physics مثل صفاتها البصرية ، وخواصها الكيميائية Crystal Chemistry ، وتركيبها الذرى البلورى Crystal Structure بطريقة الأشعة السينية X-Ray .

خواص البلورة

تعريف: البلورة هى جسم صلب متجانس له تركيب ذرى معين ومحدد بسطوح او مستويات ملساء تكونت بفعل العوامل الطبيعية تحت ظروف مناسبة من الحرارة والضغط .

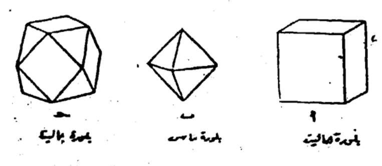
الأوجه البلورية : تتكون السطوح التى تحدد الشكل الخارجى للبلورة والتى تعين شكلها الهندسى المنتظم نتيجة التركيب الذرى لها (شكل ١٠) وهذه السطوح الخارجية تسمى الأوجه البلورية Crystal faces . وتتوقف طبيعة الأوجه البلورية

(شكل ١٠ نموذج يمثل الترتيب الذرى الداخلى لبلورة كلوريد الصوديوم (معدن هاليت)

على الظروف الطبيعية والكيميائية السائدة أثناء نمو البلورة ، فقد تنمو البلورة وتصل إلى بضعة سنتيمترات فى حجمها إذا لم يوجد عائق يحول دون حرية نموها ، وقد تتناهى فى الصغر بحيث يصعب رؤيتها بالعين المجردة . ونتيجة للظروف الطبيعية والكيميائية قد تتكون جميع الأوجه البلورية الممكنه أو بعضها أو ينعدم وجودها .

وغالبا ما تكون الأوجه البلورية مستوية وأحياناً مقوسة أو منحنية . والأوجه البلورية إما أن تكون متشابهة فى البلورة الواحدة (شكل ١١ ا ، ب) أو غير متشابهة (شكل ١١ حـ) . وحيث أن الأوجه البلورية هى التعبير الخارجى للتركيب الذرى ، وتتكون عادة فى المستويات التى تشمل أكبر عدد ممكن من الذرات أو المجموعات الذرية للعناصر التى تتكون منها البلورة ، وحيث أن التركيب الذرى ثابت ومميز لكل بلورة فلا بد أن تكون الأوجه البلورية ثابتة أيضا ومميزة للبلورة .

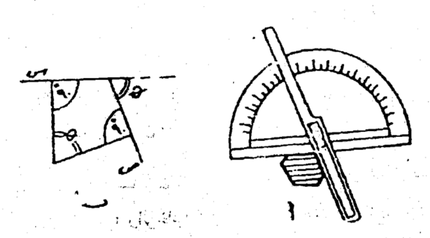
الأحرف (الحدود) Edges : وتنتج من تقابل وجهين بلوريين متجاورين.



(شكل ١١) يبين نماذج لبلورات متشابهة الأوجه (ا ، ب)
وبلورة غير متشابهه الأوجه (حـ)

الزوايا الركنية Solid angles : وهى التى تكون نتيجة تقابل أكثر من وجهين فى البلورة .

الزوايا بين الوجهية Interfacial angles : تعرف الزوايا الناتجة عن تلاق أى وجهين بلورين متجاورين بالزاوية بين الوجهية ، وتقدر بلوريا بقيمة الزاوية المحصورة بين العمودين الساقطين على هذين الوجهين ، أى بما يساوى قيمة الزاوية المكملة للزاوية المحصورة بين الوجهين البلورين (شكل ١٢) . وللزوايا بين الوجهية أهميتها الخاصة فى علم البلورات حيث أنها تدل على الصلة بين الأوجه البلورية التى ما هى إلا التعبير الخارجى للتركيب الذرى الداخلى ، وتسهل بالتالى التعرف على نوع البلورة ونظامها ، ومن البديهى إذن أن الزوايا بين الوجهية ثابتة القيمة (فى درجة الحرارة الواحدة) لجميع البلورات التى لها تركيب كيميائى واحد وتركيب ذرى واحد بصرف النظر عن حجم البلورة وشكل أوجهها . وتعرف هذه الحقيقة **بقانون ثبات الزوايا بين الوجهية** Law of constancy interfacial angles وهو قانون أساسى فى علم البلورات (نيكولاس ستينو ١٦٦٩) .



(شكل ١٢) يبين جونيوميتر التماس (ا) لقياس الزوايا بين الوجهية (هـ) فى (ب) المحصورة بين الوجهين البلورين (س ، س)

ويمكن قياس الزوايا بين الوجهية فى البلورة باستخدام « منقل » أو جونيوميتر ، ويوجد منه نوعان : جونيوميتر التماس Contact Goniometer لقياس الزوايا بين الوجهية بالتقريب فى البلورات الكبيرة الحجم (شكل ٥ - ١). وأما النوع الثانى فيستخدم للحصول على القياسات الدقيقة للزوايا بين الوجهية فى البلورات الصغيرة الحجم ويسمى جونيوميتر عاكس Reflecting Goniometer .

وينتج عن التركيب الذرى الداخلى للمادة المتبلورة - بالإضافة إلى تكوين الأوجه البلورية - بعض الصفات والخواص الطبيعية الأخرى ، فمثلا خاصية عدم تساوى الخواص الطبيعية فى جميع الاتجاهات « عدم التجاهى Anisotropy » صفة هامة تفرق بين المادة المتبلورة والمادة غير المتبلورة . ومن أمثلة هذه الخاصية : عدم تجاهى التوصيل الحرارى ومعامل التمدد الحرارى ، ومعامل إنكسار الضوء ، وسرعة الضوء ودرجة إمتصاصه .

وينعدم الترتيب الذرى الداخلى فى المواد غير المتبلورة ومن ثم لا يتكون لها أوجه بلورية . ولكن ليس معنى هذا أن كل جسم صلب لا تحده أوجه بلورية أن يكون غير متبلور ، فهناك مواد متبلورة لم تسمح الظروف الطبيعية والكيميائية بتكوين الأوجه البلورية لها كما هو الحال فى البلورات عديمة الأوجه ، ويفرق بين كل من المادتين حينئذ بظاهرة عدم تجاهى الخواص .

أما الأشكال الهندسية ذات السطوح الخارجية المستوية المصقولة صناعيا فى الأشكال الزجاجية والرخامية التى تستعمل كتحف أو نماذج فنية فلا توصف بأنها مواد متبلورة لمجرد أنها تحدد بسطوح مستوية تشبه الأوجه البلورية ، وذلك لأنه ينقصها الترتيب الذرى الداخلى المميز للمادة المتبلورة .

التماثل البلورى Crystallographic symmetry

إذا دققنا النظر فى بلورة ما وفحصنا وضع الأوجه البلورية وتوزيع الأحرف والزوايا الركنية لوجدنا أن هناك ترتيبا هندسيا مميزا يخضع لقواعد معينة فى التوزيع والتنسيق . ويسمى هذا الترتيب الهندسى فى البلورة بالتناسق أو التماثل البلورى . وبالملاحظة نجد أن جوهر التماثل هو التكرار ، وأن درجة التماثل تختلف من بلورة إلى أخرى ، وتقدر بالنسبة لعناصر ثلاثة تسمى عناصر التماثل Symmetry elements وهى :

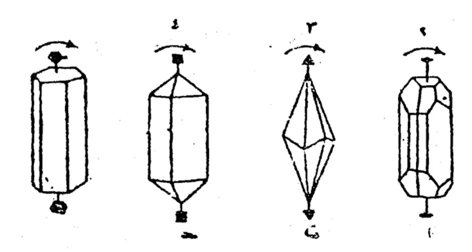
١) محور تماثل Axis of symmetry .

٢) مستوى تماثل Plane of symmetry .

٣) مركز تماثل Centre of symmetry .

وقد توجد هذه العناصر مجتمعة فى بلورة واحدة وقد يختفى بعضها فى البلورات المنخفضة التماثل، وأحيانا ينعدم التماثل نهائياً كما هو الحال فى بلورات بعض المواد الكيميائية مثل تيوسلفات الكالسيوم المائية .

محور التماثل . وهو خط وهمى يمر بمركز البلورة يمكن أن تدور أو تلف حوله البلورة بشرط أن يتكرر ظهور وجه أو حرف أو زاوية ركنية مرتين أو أكثر خلال دورة كاملة (٣٦٠°) ، بمعنى أن يحتل وجه بلورى وضعاً مشابها لوضعه الأول أكثر من مرة أثناء دوران البلورة حول هذا المحور دورة كاملة . ولذلك يسمى **محور تماثل دورانى** Rotation axis of symmetry (شكل ١٣) . وعلى قدر درجة التماثل الموجود فى البلورة فانها تكرر وضعا ما عدداً معيناً من المرات فى الدورة الكاملة حول محور التماثل .



(شكل ١٣) ـ ا ، ب ، ﺟ ، د ، تبين محاور دوران ثنائية ، ثلاثية رباعية وسداسية التماثل

ويوصف محور التماثل الدورانى بأنه ثنائى Two-fold axis أو Digonal أو Diad إذا كان تكرار الأوضاع المتشابهة مرتين فى الدورة الكاملة أى أن البلورة تعيد نفس الوضع كل ١٨٠° ويرمز لهذا المحور بالعلامة «⬬» أو بالعدد «٢» . وإذا كررت البلورة نفس الوضع ثلاث مرات فى الدورة الكاملة أى كل ١٢٠° حول محور ما فانه يسمى ثلاثى التماثل Three-fold axis أو Trigonal أو Triad ويرمز له بعلامة «▲» أو بالعدد «٣» . وأما المحور الدورانى الرباعى التماثل Four-fold axis أو Tetrad فيكرر الوضع أربعة مرات فى الدورة الكاملة أى كل ٩٠° ويرمز له بعلامة (■) أو بالعدد (٤) . وفى حالة المحور الدورانى السداسى التماثل Six-fold axis أو Hexagonal أو Hexad فان الوضع يتكرر كل ٦٠° أى تعيد البلورة وضعها ستة مرات فى الدورة الكاملة ويرمز له بعلامة (⬢) أو بالعدد (٦) .. وبصفة عامة يمكن القول بأن درجة تماثل محور الدوران هى ن إذا ما أعادت البلورة نفس

الوضع ن من المرات فى الدورة الكاملة أى كل $\frac{٣٦٠^\circ}{ن}$. وقد تمكن الباحثون من إثبات أن المحور الدورانى الخماسى التماثل لا وجود له فى البلورات حيث أنه لا يتفق والترتيب الذرى فى النظم البلورية المختلفة .

مستوى التماثل : هو ذلك المستوى الذى يقسم البلورة إلى نصفين متساويين ومتشابهين بشرط أن يكون أحد النصفين صورة مرآة Mirror image للنصف الآخر (شكل ١٤) . ويرمز للمستوى التماثلى بالرمز (م) من كلمة مرآة . ويلاحظ أن كل وجه أو حرف أو زاوية ركنية على أحد جانبي هذا المستوى يناظره وجه أو حرف أو زاوية ركنية مشابهة على الجانب الآخر منه. ومن البديهى إستنتاج أن مستويات التماثل فى البلورة هى نفس المستويات التماثلية بالنسبة للترتيب الذرى الداخلى ، (راجع شكل ١٠) .

(شكل ١٤) يبين مستوى التماثل فى بلورة أوجيت

مركز التماثل : هو نقطة وهمية مركزية فى البلورة تترتب حولها الأوجه البلورية والأحرف والزوايا الركنية فى إزدواج وفى أوضاع متماثلة فى إتجاهين متضادين وعلى مسافتين متساويتين من هذه النقطة المركزية ، بمعنى أن كل وجه بلورى أو حرف أو زاوية ركنية موجودة على جانب من مركز البلورة ويبعد عنه بمسافة معينة لابد أن يقابله ويناظره على الجانب المضاد وعلى نفس البعد وجه بلورى أو حرف أو زاوية ركنية مشابهة . ويرمز لمركز التماثل بالحرف (ن) من كلمة نقطة .

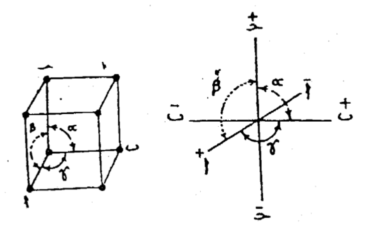
المحاور البلورية Crystallographic Axes

المحاور البلورية هى خطوط وهمية تتقاطع فى مركز البلورة وتمتد إلى وسط الأوجه البلورية أو الأحرف أو الزوايا الركنية المتناظرة فى البلورة ، وتستخدم لتعيين وضع الأوجه فى البلورة ، كما هو الحال فى تعيين أوضاع المستويات المختلفة فى الهندسة الفراغية بالنسبة إلى ثلاثة محاور متقاطعة فى نقطة مركزية . وتتعين الأوجه البلورية إما بالنسبة إلى ثلاثة محاور بلورية كما فى معظم المجموعات البلورية أو بالنسبة لأربعة محاور وذلك فى مجموعتين بلورتين فقط (فصيلتى السداسى والثلاثى) . وتحدد عناصر التماثل ودرجتها وضع وإتجاهات المحاور البلورية ، وغالباً ما يكون المحور البلورى محور تماثل وخاصة المحور البلورى الرأسى ، وعادة ما يكون لهذا المحور أعلى درجة تماثل فى البلورة كما يعين المجموعة التى تنتمى اليها .

ويسمى المحور البلورى الأفقى الممتد من الامام للخلف (بالنسبة لدارس البلورة) المحور (ا) a-axis ، ويميز الطرف الأمامى منه بإشارة موجب (+) والطرف الخلفى باشارة سالب (–) (شكل ١٥) . ويسمى المحور الأفقى الآخر الممتد من إتجاه اليمين إلى اليسار (بالنسبة لدارس البلورة) بالمحور (ب) b-axis وطرفه الأيمن موجب والأيسر سالب ، أما المحور الثالث فيمتد رأسيا ، أى من أعلى إلى أسفل ويسمى (حـ) c-axis ويميز طرفه الأعلى بالموجب والأسفل بالسالب . وتتقاطع المحاور البلورية فى مركز البلورة مكونة ما يسمى بالصليب المحورى أو التقاطع المحورى Axial cross ، وتحصر المحاور البلورية فيما بينها الزوايا المحورية Axial angles . وتسمى الزاوية

المحصورة بين المحور ا ،ب بزاوية جاما (γ) والزاوية بين ب ،حـ ألفا (α) والزاوية بين حـ ، ا بيتا (β) .

وتعرف النسبة بين أطوال المحاور البلورية ا : ب : حـ بالنسبة المحوريه Axial ratio على أساس تقدير طول المحور (ب) كوحدة . وهذه النسبة ثابتة ومميزة لبلورات المعدن الواحد . فمثلا تمتاز بلورة المكعب بثلاثة محاور بلورية متساوية فى الطول ا = ب = حـ أو ١ : ١ : ١ ، أى أن النسبة المحورية = ١ : ١ : ١ . والنسبة المحورية لبلورة الكبريت المعيني(الذى ينتمى لفصيلة المعينى القائم) هى ا : ب : حـ = ٠٫٨١ : ١ : ١٫٩ : وفى كل من فصيلة



(شكل ١٥) يبين عناصر التبلور المحاور البلورية ا ب جـ والزوايا المحورية α ، β ، γ

الرباعى والسداسى والثلاثى حيث تتساوى المحاور الأفقية أى أن ا = ب = الوحدة فان النسبة المحورية هى ١ ، حـ . فمثلا بلورة الزيركون الرباعى لها النسبة المحورية ١ : ٠٫٦٤ أو بطريقة أخرى مبسطة حـ = ٠٫٦٤ ، وفى بلورة البريل السداسى جـ = ٠٫٤٩ أى أن المحور (جـ) أقصر من المحاور الافقية . أما فى البلورات التى يميل فيها أحد المحاور البلورية على المحورين

الآخرين (فصيلة أحادى الميل) فيلزم ذكر قيمة الزوايا المحورية بيتا β « بجانب النسبة المحورية ، فمثلا بلورة الجبس لها النسبة المحورية ا : ب : حـ = ٠٫٦٦٩ : ١ : ٠٫٤١ وزاوية بيتا ١٨َ – ٩٩° . وعندما تميل المحاور البلورية الثلاثة على بعضها (فصيلة ثلاثى الميل) فيجب توضيح قيمة الزوايا المحورية الثلاثة بالإضافة إلى النسبة المحورية ، فمثلا بلورة معدن أكسينيت Axinite لها النسبة المحورية ا : ب : حـ = ٠٫٤٩ : ١ : ٠٫٤٨ والزاوية ألفا α = ٥٤َ – ٨٢° والزاوية بيتا β = ٥٢َ – ٩١° والزاوية جاما γ = ٣٢َ – ١٣١°

وعلى أساس عناصر التبلور – وهى المحاور البلورية والزوايا المحورية – أمكن تصنيف النظم البلورية إلى سبعة فصائل بلورية Crystal systems لكل منها محاور بلورية ذات أطوال ثابتة وزوايا محورية ذات قيم ثابتة مميزة وهذه الفصائل هى :–

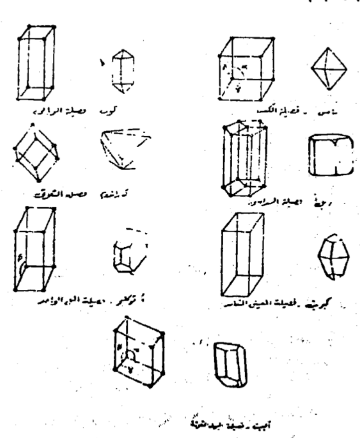
١ – **فصيلة المكعبى** Cubic system : لها ثلاثة محاور بلورية متساوية الأطوال $ا_1$ $ا_2$ $ا_3$ ومتعامدة ، أى أن الزوايا المحورية $\alpha = \beta = \gamma = 90°$ (شكل ١٦) . ومن المعادن التى تتبع هذه الفصيلة جالينا (كبريتيد الرصاص – ر كب) ، هاليت (ص كل) ، فلوريت (كا فل$_2$) ، ماجنيتيت (ح$_3$ ا$_4$) .

٢ – **فصيلة الرباعى** Tetragonal system . تتميز بثلاثة محاورة بلورية ، إثنان أفقيان متساويان فى الطول ا ، ب والمحور الرأسى (حـ) أقصر أو أطول منها ، والمحاور الثلاثة $ا_1$ $ا_2$ حـ متعامدة ، أى أن الزوايا المحورية = ٩٠° . ويتبع هـــذه الفصيلة معدن زيركون (كن س ا$_4$) ، روتيل (تى ا$_2$) ، كاستريت (ق ا$_2$)

٣ – **فصيلة السداسى** Hexagonal system : . تمتاز بوجود أربعة محاور –

ثلاثة منها أفقية متساوية الطول وتتقاطع في زوايا ١٢٠° ومحور رأسي أطول أو أقصر من المحاور الأفقية ويتعامد على المستوى الذي يشمل المحاور الأفقية الثلاثة . أ$_1$ أ$_2$ أ$_3$ ح ، والزاوية γ = ١٢٠° . ويتبع هذه الفصيلة معدن بيريل (الزمرد) وهو سيليكات الألومنيوم والبريليوم (بل$_3$ لو$_2$ س$_6$ أ$_{18}$) .

٤ — **فصيلة الثلاثي** Trigonal system : تتشابه مع فصيلة السداسي في صلة المحاور البلورية أ$_1$ أ$_2$ أ$_3$ ح وتختلف عنها في المحور الرأسي (ح) فهو سداسي التماثل في فصيلة السداسي وثلاثي التماثل في فصيلة الثلاثي . ويتبع هذه الفصيلة معدن كالسيت (كا ك أ$_3$) ، سيدريت (ح ك أ$_3$) ، هيماتيت (ح$_2$ أ$_3$) ، كوراندوم (لو$_2$ أ$_3$) .



(شكل ١٦) يبين نماذج الفصائل البلورية السبعة

٥ ـ فصيلة المعينى القائم Orthorhombic system : المحاور البلورية الثلاثة مختلفة الأطوال وغالباً ما يكون حـ > ب > ا . والزوايا المحورية $\alpha = \beta = \gamma = ٩٠°$. ويتبع هذه الفصيلة معدن باريت (با كب ا٤) ، أراجونيت (كا ك ا٣) ، أوليفين : سيليكات الماغنسيوم والحديد (ما ، ح) س ا٤ .

صفة المحاور	فصيلة	طول وحدة المحاور على الاتجاهات				قيمة الزوايا المحورية		
		هـ	ك	و	ل	α	β	γ
طول واحد Monometric	المكعبى	١	١		١	٩٠°	٩٠°	٩٠°
طولين Dimetric	الرباعى	١	١		حـ	٩٠	٩٠	٩٠
	السداسى	١	١	١	حـ	٩٠	٩٠	١٢٠
	الثلاثى	١	١	١	حـ	٩٠	٩٠	١٢٠
أطوال ثلاثة Trimetric	المعينى القائم	١	ب		حـ	٩٠	٩٠	٩٠
	أحادى الميل	١	ب		حـ	٩٠	>٩٠	٩٠
	ثلاثى الميل	١	ب		حـ	≠٩٠	≠٩٠	≠٩٠

٦ ـ فصيلة احادى الميل Monoclinic system : المحاور الثلاثة مختلفة الأطوال ا ب حـ ، المحور الأفقى (ب) عمودى على المحور (حـ) والمحور (ا) مائل على المستوى الرأسى الذى يشمل المحورين ب، حـ أى أن الزاوية المحورية $\alpha = \gamma = ٩٠°$ والزاوية $\beta > ٩٠°$. ويتبع هذه الفصيلة معدن جبس (كا كب ا٤ ـ ٢ يد٢ ا) ، أرثوكلاز (سيليكات ألومنيوم وبوتاسيوم) ،

أوجيت (سيليكات لو ، ح ، ما ، كا) ، هورنبلند (سيليكات لو ، ح ، ما ، كا ، يدا) .

٧ — **فصيلة ثلاثى الميل** Triclinic system : المحاور البلورية الثلاثة مختلفة الأطوال ا ، ب ، ج وغير متعامدة، أى أن الزوايا المحورية $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$.
ومن المعادن التى تتبلور حسب هذه الفصيلة معدن ألبيت (سيليكات لو ، ص)، أنورثيت (سيليكات لو ، كا) . ويوضح الجدول السابق الصلة بين المحاور البلورية والزوايا المحورية فى الفصائل البلورية .

المعـــــادن

(بقلم الشناوى)

تشمل دراسة علم المعادن ـ بجانب الدراسة الفرعية لعلم البلورات التى سبق ايجازها فى هذا الباب ـ دراسات فرعية أخرى مثل :ـ

أولا) الدراسة الطبيعية للمعادن Physical Mineralogy : تشمل دراسة خواصها الطبيعية مثل اللون ، الخدش ، البريق ، الصلادة ، الوزن النوعى ، والصفات المغناطيسية والحرارية والكهربية ... الخ .

ثانيا) ، الدراسة الكيميائية للمعادن Chemical Mineralogy : تبحث هذه الدراسة فى التركيب الكيميائى للمعادن المختلفة وخواصها الكيميائية والعلاقة بين هذه الخــــواص والتركيب البلورى وكذلك البحث فى أصل المعادن وكيفية تكونها Origin of Minerals .

ثالثا) دراسة الرواسب المعدنية Mineral Deposits : وتبحث فى التكوينات أو الرواسب المعدنية لمعرفة مكوناتها وأصلها ونشأتها وأماكن وجودها ، وهذه الدراسة أساسيه لعلم المناجم Mining الذى يختص باستخراج واستغلال الرواسب المعدنية وتجهيزها للصناعة .

رابعا) الدراسة الوصفية للمعادن Descriptive Mineralogy : ويختص هذا الفرع بوصف المعادن ـ وخاصة المعادن ذات الأهمية ـ من حيث صفاتها الطبيعية والكيميائية ، وأصلها وكيفية تكونها وأماكن وجودها وفوائدها.

خامساً) . الدراسة البصرية للمعادن Optical Mineralogy : وهى دراسة تكميلية وتأكيدية للتحقق من صحة تحديد شخصية المعادن المختلفة ، وذلك باستخدام الطرق البصرية بواسطة جهر خاص « ميكروسكوب إستقطابى » .

وستقتصر الدراسة هنا – لضيق المجال – على بعض الخواص الطبيعية للمعادن ، ونبذة عن طريقة تعيين التركيب الكيميائى للمعادن ،وموجز مبسط عن التصنيف الكيميائى للمعادن والرواسب المعدنية .

الخواص الطبيعية للمعادن

تتوقف الخواص الطبيعية للمعدن على تركيبه الكيميائى وتركيبه الذرى الداخلى إذا كان متبلورا ، ولذلك فمعظمها مميز للمعادن المختلفة حيث أنها غالباً ماتكون ثابتة للمعدن الواحد ، وتساعد كثيراً على التعرف على شخصية المعدن بصفة مبدئية وتمييزه عن المعادن الأخرى . وأهم الخواص الطبيعية للمعادن هى :

١) خواص ضوئية (أو بصرية) Optical properties وتعتمد على الضوء مثل اللون ، المخدش ، البريق ، الشفافية والتضوء (تفسفر وتفلر) .. الخ .

٢) خواص حواسية Sense properties : تعتمد على بعض الحواس مثل الطعم والرائحة والملمس .

٣) خواص تماسكية Cohesive properties : وتتوقف على حالة تماسك المعدن مثل الصلادة ، والإنفصام والمكسر وقابليته للسحب والطرق .

٤) الوزن النوعى (الثقل النوعى) Specific gravity

٥) خواص حرارية مثل درجة الإنصهار Fusibility

٦) خواص مغناطيسية Magnetic ، كهربية Electric ، واشعاعية Radioactivity

الخواص الضوئية

اللون . ينتج لون المعدن عن قدرته على عكس (إعكاس) نوع معين من الموجات الضوئية الملونة وإمتصاص الموجات الاخرى التى تكون أشعة الضوء العادى ، فيبدو لون المعدن أحمراً إذا كان يعكس الموجات الحمراء ويمتص جميع الموجات الأخرى المكونة للضوء العادى . ويظهر المعدن أسود اللون إذ أنه لايعكس الضوء ، أو يعكسه بكمية ضئيلة جدا لاتؤثر فى شبكية العين لتعطى الإحساس باللون . وإذا كان للمعدن القدرة ليعكس جميع الموجات أو الذبذبات الضوئية فإنه يبدو أبيض اللون . ويعتبر لون المعدن من أهم الخواص الطبيعية الظاهرة الأخاذة التى يمكن الإستفادة منها فى التعرف على بعض المعادن الثابتة اللون .

كثيرا ما يكون لبعض المعـــادن ألوان ثابتة إلى حد ما ، وتسمى (اديوكروماتيك) Idiochromatic . ومن الأمثلة الشائعة لهذا النوع معدن الكبريت Sulphur ولونه أصفر فاقع ، مالاكيت Malachite (كربونات النحاس المائية) ولونه أخضر ، أزوريت Azurite (كربونات النحاس المائية ـ نح ٣ (ك أ٣)٢ ـ ٢ يد٢ أ) ولونه أزرق ، سنابار Cinnabar (كبريتيد الزئبق) ولونه أحمر قانى ، ماجنيتيت Magnetite (أكسيد الحديدوز والحديديك) ولونه أسود ، ومعدن بايريت Pyrite (كبريتيد الحديد) ولونه أصفر نحاسى .

وقد يتغير اللون فى الأنواع Species المختلفة للمعدن الواحد ويوصف حينئذ بأنه متغير اللون (اللوكروماتيك) Allochromatic . ويعزى تغير لون المعدن إلى إحتوائه على شوائب ملونة pigments أو شوائب دخيلة تسمى مكتنفات Inclusions ، فمعدن الكوارتز النقى عديم اللون ، ولكن تظهر الأنواع

Quartz الذى يحتوى على شوائب ملونة (أكاسيد حديد حمراء) تعمل عمل الأصباغ فى المعدن ، ويحتوى الكوارتز Amethvst على بعض شوائب ملونة بنفسجية (أكسيد المنجنيز) ، وكذلك الحال في الكوارتز المدخن Smoky Quarts وتنتشر الشوائب الملونة في المعدن بغير إنتظام ، فقد توجد فى شكل بقع أو نقط غير منتظمة كما فى الكوارتز البنفسجى والياقوت الأزرق (الزفير – لو٢أ٣) Shapphire ، وأحياناً توجد الشوائب الملونة فى طبقات أو حلقات أو أحزمة منتظمة كما فى معدن أجيت (العقيق) Agate وهو كوارتز خفى التبلور ، وتورمالين (بوروسيليكات لو ، ح ، ما) Tourmaline وقد يكون التغير فى لون الأنواع المختلفة للمعدن الواحد نتيجة إختلاف ضئيل فى التركيب الكيميائى (فى أضيق الحدود) من نوع لآخر ، فيظهر معدن سفاليريت (كبريتيد الخارصين الحديد) Sphalerite فى ألوان مختلفة تتدرج من البنى المصفر إلى الأسود وذلك نتيجة تزايد نسبة عنصر الحديد فى الأنواع السوداء .

تلاعب الألوان Playing of Colours : عرض الألوان تتوقف هذه الظاهرة علي قدرة المعدن فى خاصية إنتشار الضوء وتفرقته Dispersion، وتعزى هذه الخاصية إلى إنقسام الأشعة الضوئية العادية إى مكوناتها الملونة عند دخولها وخروجها من المعدن ، مثل الماس الذى يتلاعب بالألوان أو يقوم بعرضها عند تغيير وضعه بالنسبة للعين ، نتيجة قدرته الفائقة فى خاصية الإنتشار الضوئي .

تغيير الألوان Change of colours تشبه هذه الظاهرة إلى حد ما خاصية تلاعب الألوان ، إلا أنها تنتج عن تدخل أشعة الضوء المنعكسة من أسطح مستويات متوازية تحتوى على صفائح رفيعة من معادن أخرى متشاكلة

دخيلة في المعدن . وتتمثل هذه الظاهرة بوضوح فى بعض أنواع معدن لابرادوريت (سيليكات لو ، ص ، كا) Labradorite ، إذ يغير الألوان فى تتابع ظاهر ، فيعطى الألوان الزرقاء ،الخضراء ، الصفراء والحمراء عند تحريكه أمام العين ، أو إذا نظر إليه إتجاهات مختلفة .

اللالاة « خاصية الأوبال » Opalescence هى مظهـــر لؤلؤى Pearly أو لبنى Milky لبعض المعادن مثل أوبال (أكسيد سيليكون مائى ، غير متبلور) Opal ، ومنه أشتق إسم هذه الخاصية . وتنتج اللألأة عن انعكاسات ضوئية من داخل المعدن حيث توجد بعض جزئيات مختلفة الترتيب فتعطى صفات بصرية مختلفة ، وتظهر أحيانا باهرة اللون وخاصة إذا كان سطح المعدن مصقولا مثل معدن حجر القمر Moonstone (سيليكات لو ، ص ـ ألبيت ، بلاجيو كلاز) .

التلون الطيفى Iridescence : تلون بعض المعادن بألوان الطيف الزاهيــة نتيجة تداخل أشعة الضوء فى شقوق دقيقة محاطة بأغشية هوائية أو سائلة داخل المعدن ، وتظهر هذه الخاصية فى بعض أنواع الكوارتز والكالسيت والميكا التى قد توجد فيها هذه الشقوق نتيجة كسور دقيقة غير ظاهرة .

اللون البراق (خاصية عين الهر) Chatoyancy : و هى خاصية ظهـور المعدن فى لون براق متموج يخطف البصر ، ويختلف بإختلاف إتجاه النظر إليه مثل لون الحرير المموج (شانجان Changant) . وينتج هذا اللون البراق من إختلاف الإنعكاسات الضوئية على سطح المعادن الأليافية النسيج ، فتشبه بريق عين القط .

التصدؤ Tarnish : عبارة عن تغير سطحى فى لون المعدن نتيجة تحلل

الطبقة الخارجية منه بتعرضها لعوامل التجويه المختلفة فيظهر لونها مختلفا عن اللون الأصلى لها . ولهذا يجب تعين لون المعدن دائما على سطح غير متعدىء ، كسطح حديث الكسر .

التضوء Luminecence : هو خاصية بعض المعادن التى لها قدرة الأشعاع الضوئى إذا ما تعرضت لطاقة أخرى مثل الطاقة الإحتكاكية ، الحرارية ، الكهربية أو الأشعة فوق البنفسجية ، وبذلك يظهر المعدن متألقا وهاجا ذو لون باهر قد يختلف تماما عن لونه الأصلى قبل تعرضه لذلك المؤثر الخارجى . فتتضوأ إحدى عينات معدن الفلوريت إذا ما وضعت على قرص حديدى ساخن وتتألق فى لون يختلف عن لونه الأصلى . وكذلك الحال عند حك قطعتين من معدن الكوارتز فى مكان مظلم فإنهما يشعان ضوءاً متألقاً . ويتضوأ معدن الكالسيت فى لون أحمر وهاج إذا ما تعرض للأشعة فوق البنفسجية . ومن التضوء نوعان :

١) **التفلر** Fluorescence : يتضوأ المعدن أثناء تعرضه للمؤثر الخارجى فقط ، وتزول هذه الخاصية بمجرد زوال المؤثر ، وقد اشتق هذا الإسم من معدن الفلوريت (فلورسبار) الذى يمتاز بوضوح هذه الخاصية .

٢) **التفسفر (الفسفرة)** Phosphorescence : يتضوأ المعدن أثناء وبعد تعرضه للمؤثر الخارجى . وقد تستغل خاصية التفسفر للتأكد من نقاوة بعض الأحجار الكريمة مثل الماس والياقوت وبعض المعادن الأخرى التى تتألق بوضوح بعد تعرضها للأشعة السينية .

المخدش Streak : هو لون مسحوق المعدن ، وقد يختلف كثيرا عن لون المعدن فى حالته الكتلية ، فلون معدن البايريت أصفر نحاسى ولكن مخدشة

أسود ، وتختلف معادن أكاسيد الحديد الداكنة اللون أو السوداء مثل هيماتيت ، ماجنيتيت وجوتيت Goethite في مخدشها ، فالأول ذو مخدش أحمر قاني ، والثاني أسود المخدش ، والثالث مخدشه أصفر . ويمكن التعرف على مخدش المعدن بواسطة حكه على سطح لوحة من الصيني غير المصقول أو المطفي تسمى **لوحة المخدش** Streak plate. وفي حالة ما إذا كان المعدن أشد صلادة من لوحة المخدش فإنه لا يترك عليها أثرا لمخدشه ، ويمكن الحصول على مخدش المعدن في مثل هذه الحالة بسحق جزء صغير منه إلى مسحوق ناعم ، أو ببرد طرف المعدن .

البريق Lustre: هو مظهر سطح المعدن في الضوء المنعكس ، ويتوقف بريق المعدن في نوعه وشدته على نوع ومقـــدار الانعكاسات الضوئية على سطحه . ويعتبر البريق من الخواص الضوئية الأساسية والمميزة للمعادن . وللبريق أنواع .

١) **البريق الفلزى** Metallic : وهو البريق العادي للفلزات مثل الذهب والفضة وكذلك المعادن القاتمة اللون ذات المظهر الفلزى مثل معدن البايريت ومعدن جالينا (كبريتيد الرصاص) . وتوجد بعض معادن ذات بريق فلزى ضعيف «**تحت فلزى**» Submetallic lustre مثل كروميت (أكسيد الحديد والكروم — ح ا . كر٢ ا٣) Chromite ، كوبريت (أكسيد النحاس الأحمر — نح٢ ا) Cuprite ، وغالبا ما تكون المعادن ذات البريق الفلزى قاتمة اللون ثقيلة الوزن .

٢) **البريق اللافلزى** Nonmetallic lustre يظهر هـذا البريق عادة في المعادن القاتمة اللون والشفافة . ويشمل الأنواع التالية :—

أ — بريق زجاجي Vitreous (glassy) lustre : يشبه بريق الزجاج كما فى معدن كوارتز ، ولبعض المعادن بريق زجاجي ضعيف «تحت زجاجي» Subvitreous lustre مثل الكالسيت .

ب — بريق صمغي « راتنجي » Resinous : يشبه بريق الصمغ كما فى معدن أوبال ومعدن عنبر Amper (= صمغ حفرى Fossil resin) ومعدن سفاليريت .

حـ — بريق لؤلؤى Pearly lussre : يشبه بريق اللؤلؤ كما فى معدن تالك (سيليكات ماغنسيوم مائية) Talc.

د — بريق حريرى Silky lustre : ويظهر هذا البريق على سطح المعادن الأليافية النسيج مثل إحدى عينات معدن الجبس (جبس ساتان Satin spar) وعينات الأسبستوس المعروفة باسم أميانتوس Amianthus « أميانت » .

هـ — بريق ماسى Adamantine lustre : بريق باهر نتيجة كبر معامل الإنكسار الضوئى فى المعدن مثل بريق الماس .

الشفافية Transparency : تتوقف هذه الخاصية على قدرة المعدن على إنفاذ الضوء أو إرساله ، فالمعادن التى تسمح بإنفاذ الضوء بدرجة كبيرة وتسمح برؤية الأجسام خلالها بوضوح توصف بأنها شفافة Transparent ، ويوصف المعدن بأنه ضعيف الشفافية « تحت شفاف » Subtransparent أو شبه شفاف Semitransparent إذا كان يسمح بانفاذ الضوء بدرجة أقل من معدن شفاف ، بمعنى أنه يسمح برؤية الأجسام خلاله بغير وضوح تام . وتوجد بعض معادن قادرة على إنفاذ الضوء ولكنها لا تسمح برؤية الأجسام خلالها فتسمى نصف شفافة Translucent . ويعرف المعدن بأنه معتم Opaque إذا لم يكن

قادرا على إنفاذ الضوء حتى من شرائحه الرقيقة ، مع ملاحظة أن بعض المعادن القاتمة والتي تظهر كأنها معتمة في حالتها الكتلية قد تكون نصف شفافة عند أحرفها الرفيعة أو شفافة في شرائحها الرقيقة .

الخواص التماسكية

تتوقف الخواص التماسكية للمعدن بصفة عامة على نوع التركيب البلوري، أي الترتيب الذرى الداخلي وقوى الربط « الأواصر » Bonds بين الأيونات أو الذرات أو الجزيئات المكونة لبلورات المعدن ، ولذلك تختلف هذه الخواص من معدن لآخر ولكنها ثابتة ومميزة للمعدن الوحد . وأهم الخواص التماسكية : -

١) **الصلادة** Hardness : هى مقدار مقاومة المعدن للخدش أو الكشط أو التفتت والتآكل ، وهى من أهم الصفات الطبيعية المميزة للمعادن حيث أنها تتفاوت من معدن لآخر . ويمكن تعيين صلادة المعدن بصفة مبدئية ، وذلك بملاحظة السهولة أو الصعوبة التى ينخدش بها المعدن باستخدام الظفر أو دبوس أو مطواه أو نصل سكين صلب حاد ، ولكن عادة مايستخدم مقياس خاص يسمى **مقياس موه للصلادة** Moh's scale of hardness . لتقدير صلادة المعدن تقديرا نسبيا . ويحتوى هذا المقياس على عشرة معادن معروفة الصلادة ومرتبة ترتيباً تصاعديا حسب درجة صلادتها النسبية ، مبتدئة من المعدن الأقل صلادة وهو معدن تالك Talc وصلادته (١) واحد ، ومنتهية بمعدن الماس Diamond الذى يمثل أعلى درجات الصلادة النسبية وهى عشرة (١٠) فى هذا المقياس .

وتتفاوت درجات الصلادة فى المعادن المكونة لمقياس موه للصلادة كالآتى :ـ

١ ـ تالك Talc	يتخدش بالظفر	٦ ـ أرثوكلاز Orthoclase	
٢ ـ جبس Gypsum		٧ ـ كوارتز Quartz	
٣ ـ كالسيت Calcite	يتخدش بالدبوس أو بنصل سكين	٨ ـ توباز Topaz	
٤ ـ فلوريت Fluorite		٩ ـ كوراندوم Corundum	
٥ ـ أباتيت Apatite		١٠ ـ ماس Diamond	

ويمكن إحلال الزجاج (زجاجة النافذة) محل معدن أباتيت فى الحالات الإضطرارية وكذلك إحلال (الزلط) فلينت Flint محل معدن الكوارتز بمعنى أنه يمكن تقدير صلادة كل من الزجاج العادى والفلينت بدرجة (٥) ، (٧) على التوالى .

وتختبر صلادة المعدن أولا بمحاولة خدشة بالظفر ، فإذا إنخدش المعدن كانت صلادته أقل من (٣) وبذلك تتحدد صلادته التقريبية ، عندئذ يسهل قياس درجة صلادته الحقيقية بإختباره بأحد معادن مقياس موه للصلادة : إما معدن جبس أو تالك فى هذه الحالة ، فإذا خدش التالك المعدن المطلوب إيجاد صلادته بسهولة فتكون صلادة المعدن أقل من (١) وتقدر حسب سهولة الخدش . وإذا لم ينخدش المعدن بالتالك فيختبر ثانية بمعدن جبس فإذا إنخدش المعدن بسهولة كانت صلادته أقل من (٢) وتتراوح ما بين (١) ، (٢) وتقدر $1\frac{1}{4}$ ، $1\frac{1}{2}$ أو $1\frac{3}{4}$ حسب سهولة إنخداشة بمعدن جبس . فإذ لم ينخدش المعدن بمعدن جبس بل العكس صحيح ، أى أن المعدن المطلوب إيجاد صلادته يخدش معدن الجبس فتكون صلادته أكبر من (٢) وتقدر $2\frac{1}{4}$ أو $2\frac{1}{2}$ حسب سهولة إنخداش الجبس بذلك المعدن .

فإذا لم ينخدش المعدن المطلوب إيجاد صلادته بواسطة الظفر فيختبر بمحاولة خدشة بمطواة أو بقطعة من زجاج النافذة ، فإذا إنخدش بسهولة حددت صلادته التقريبية بين (٥) ، (٣) ، ثم يختبر بواسطة المعادن القياسية فى مقياس موه للصلادة لتحديد صلادته الحقيقية . فإذا انخدش بمعدن أباتيت وكان يخدش فى الوقت نفسه معدن فلوريت فصلادة المعدن تتراوح بين (٥) ، (٤) وتقدر ٤ ١/٤ أو ٤ ١/٢ أو ٤ ٣/٤ بمقدار سهولة إنخداشه بمعدن أباتيت أو خدشه لمعدن فلوريت ، وهكذا .

وفى حالة ما لم ينخدش المعدن بمطواة أو نصل سكين حاد فتقدر صلادته التقريبية أكبر من (٥) ويختبر بالمعادن القياسية الأخرى لتحديد صلادته الحقيقية بالطريقة السابق شرحها . ويجب ملاحظة أنه إذا انخدش معدن ما بواسطة أحد المعادن القياسية وأن الأخير قد انخدش فى نفس الوقت بواسطة ذلك المعدن بدرجة متقاربة كان هذا دليل على تساوى درجة صلادة كل من المعدنين ، كما يجب التأكد من وجود خدش على سطح المعدن بعد الإختبار ومسح المسحوق الناتج من الخدش أو البرد .

وتدل الإختبارات الدقيقة لصلادة معظم المعادن على أن درجة الصلادة تتغير فى المعدن الواحد تبعا لإتجاه الخدش وتسمى هذه الخاصية عدم تجانس الصلادة Hardness anisotropy . وتقدر صلادة بلورة كيانيت (سيليكات الألومنيوم، قصيلة ثلاثى الميل) Kyanite (٤) تقريبا فى إتجاه طول البلورة و (٧) فى الإتجاه العمودى عليه . وأحيانا توجد المعادن القياسية للصلادة على هيئة أقلام تثبت فى نهاية كل منها جزء مخروطى الشكل من أحد معادن المجموعة القياسية

للصلادة وتسمى أقلام الصلادة Hardness pencils ، وقد تثبت هذه الأقلام جول حلقة تعرف بعجلة الصلادة Hardness wheel

٢) الانفصام Cleavage : هو خاصية تفتت أو إنقسام بعض المعادن المتبلورة فى اتجاه مستويات منتظمة متوازية إذا ما طرقت طرقا خفيفاً ، وتسمى مثل هذه الاتجاهات مستويات الانفصام Cleavage planes . وترتبط إتجاهات مستويات الإنفصام إرتباطا وثيقا بالتركيب البلورى ، فتكون دائما موازية لوجه بلورى معين أو عدة أوجه مميزة فى المعدن القابل للانفصام . وينتج الإنقسام عن كيفية رص الذرات ونوع الروابط بينها ، فنى مستويات الإنفصام ذاتها تكون الذرات متقاربة الرص والروابط بينها قوية ، أى أن الذرات فى هذه المستويات كثيفة ومتماسكة فيما بينها بقوة فى حين أن رص الذرات يكون متباعدا نسبيا وأن قوى الربط بينها كذلك ضعيفة فى ا حة العمودى على إتجاه مستويات الإنفصام . ومن البديهى إستنتاج أن خاصية الإنفصام لا توجد فى المعادن غير المتبلورة .

وقد يوجد أكثر من إتجاه واحد لمستويات الإنفصام فى بعض المعادن ، وعادة ما يتميز أحد هذه المستويات بسهولة إنفصامه عن الاتجاهات الأخرى . ويوصف الإنفصام بالنسبة للاتجاه البلورى للمستوى أو المستويات التى يوازيها ،



(شكل ١٧) مستويات انفصام مكعبى فى بلورة هاليت

وبالنسبة إلى درجة كماله أى مدى سهولة الأنفصام فى كل من هذه المستويات . فينفصم معدن هاليت وجالينا فى مستويات موازية لأوجه المكعب ويوصف بأنه مكعبى الانفصام ، بينما يتميز معدن فلوريت والماس بمستويات إنفصام موازية لأوجه ثمانى الأوجه المكعبى ويسمى انفصام ثمانى الاوجه . ويوجد إنفصام معينى فى معدن كالسيت حيث توازى مستويات الإنفصام أوجه معينى الأوجه مهما اختلفت هيئة بلورة الكالسيت .

٣) الإنفصال Parting : هى ظاهرة تجزؤ أو إنقسام المعدن إلى أجزاء عند مستويات ضعف غير متوازية فى إتجاهات غير ثابتة وغير مميزة . وتنتج ظاهرة الإنفصال من تأثير عوامل طبيعية خارجية على بعض المعادن بعد تكوينها بسبب تعرضها لعوامل ضغط أو تكسير أو عوامل إخلال تودى إلى سهولة إنفصال المعدن فى مستويات غير منتظمه . وليس من الضرورى ظهور مستويات إنفصال فى جميع بلورات المعدن الواحد حيث أن هذه الظاهرة لا ترتبط بالتركيب البلورى ، ولكنها نتيجة للعوامل الخارجية التى كثيرا ما تختلف من مكان لآخر . وقد تتشابه مستويات الإنفصال ومستويات الانفصام ظاهريا ولكن يمكن ، بدقة الملاحظة ، تمييز الأخير بتوازى إتجاه مستوياته مع بعضها فى إتجاه بلورى ثابت مميز ، وكذلك بتساوى المسافة بين مستويات الأنفصام وإختلافها فى مستويات الأنفصال .

٤) المكسر Fracture : هو عبارة عن شكل أو هيئة سطح المعدن عندما ينكسر أو يتفتت فى إتجاهات أخرى مختلفة عن مستويات الإنفصام والإنفصال . ويظهر المكسر بوضوح فى المعادن التى لا تنفصم والتى لا يوجد بها مستويات إنفصال كما هو الحال فى بعض المواد غير المتبلورة .

ومن اليسير التفرقة بين سطح مستوى إنفصام وسطح مكسور فى غير إنتظام .
ويوصف مكسر المعدن بأنه:

ا – محارى Conchoidal : حيث يظهر سطح المعدن المكسور على هيئة خطوط مقوسة متراكزة تتسع وتتلاشى تدريجيا كلما بعدت عن نقطة مركزية ، وتشبه تماما خطوط النمو فى المحارات، أو الدوائر المتراكزة عند خبط الزجاج السميك ، مثل مكسر الكوارتز والفلينت . وأحيانا يظهر المكسر المحارى ضعيفا فيوصف بأنه تحت محارى Subconchoidal .

ب – مستوى Even : يظهر سطح الكسر منبسطا أو مستويا مثل مكسر معدن تشيرت Chert : (سيليكا مائية خفية التبلور) .

حـ – غير مستوى Uneven : سطح الكسر خشن غير مستوي نتيجة وجود بروزات أو نتوءات دقيقة كما هو الحال فى معظم المعادن عند كسرها .

د – مسنن او ممشط Hackly : يظهر السطح على هيئة أسنان حادة مثل مكسر النحاس .

هـ – ارضى Harthy : عندما يكون مظهر السطح المكسور غير منتظم مثل الطباشير والكاولين Kaoline .

الوزن النوعى « الثقل النوعى »

الوزن النوعى هو نسبة وزن حجم معين من مادة ما إلى وزن حجم مساو له من الماء عند درجة ٤° مئوية ، وبعبارة أخرى هو نسبة كثافة المعدن إلى كثافة الماء . ويعتبر الوزن النوعى من الصفات الهامة والمميزة للمعدن وهو

ثابت القيمة للمعدن الواحد عند ثبات درجة الحرارة والتركيب الكيميائى .
ويختلف الوزن النوعى إختلافا بيناً فى كثير من المعادن التى قد تتشابه فيا بينها فى بعض صفاتها الطبيعية الأخرى ، فمثلا يوجد تشابه كبير بين معدنى سيليستيت (كبريتات سترونشيوم) وباريت (كبريتات باريوم) ولكن يمكن تمييز أحدهما عن الآخر بوزنه النوعى وهو ٣٫٩٦ لمعدن سيليستيت، ٤٫٥ لمعدن باريت . ويتوقف الوزن النوعى على التركيب الكيميائى للمعدن ، وليس أدل على ذلك من أن معادن الرصاص دائما ثقيلة (الوزن الذرى للرصاص ٢٠٧٫٢٢) ، وكذلك معادن الباريوم (الوزن الذرى للباريوم ١٣٧٫٣٦) .

ولا يتوقف الوزن النوعى للمعدن على تركيبه الكيميائى فحسب ، بل كذلك على التركيب البلورى ، فيتغير تبعا لطريقة رص الذرات المكونة له . فقد يكون الترتيب الذرى للمعدن كثيفا ، أى أن ذراته متراصه فى تقارب وأحكام فى نظام مميز، أو قد يكون غير كثيف الترتيب حيث توجد الذرات المكونة له فى نظام رص متباعد ، فيتميز معدن الماس بوزن نوعى (٣٫٥) أكبر من الوزن النوعى لمعدن الجرافيت (٢٫٢) مع العلم بأن التركيب الكيميائى لكليهما واحد (عنصر الكربون) إلا أنهما يختلفان فى التركيب البلورى ، فهو نظام مكعبى فى معدن الماس ونظام سداسى فى معدن الجرافيت .

تعيين الوزن النوعى للمعادن : يمكن تعيين الوزن النوعى للمعادن بطرق عديدة تتوقف على حجم وخواص المعدن . والفكرة الأساسية فى كل من هذه الطرق هو أن النقص فى وزن جسم ما عند غمره فى الماء يساوى وزن الماء المزاح ، أى يساوى وزن حجم من الماء مساو لحجم الجزء المغمور من الجسم.

فلو فرض أن و هـ = وزن الجسم فى الهواء ، و م = وزن الجسم فى الماء ، فان النقص فى وزن الجسم = و هـ — و م = وزن الماء المزاح ، ويصبح

الوزن النوعى لهـذا الجسم $\frac{\text{و هـ}}{\text{و هـ} - \text{و م}}$

ولإيجـاد الوزن النوعى لمعدن ما يجب التأكد من نقاوته وخلوه من الشوائب والفجوات الهوائية التى قد ينشأ عنها إختلاف الوزن النوعى للمعدن الواحد . وأهم الطرق المستعملة فى تعيين الوزن النوعى هى :ـ

١) إستخدام الميزان الكيميائى العادى وذلك فى بعض العينات المتوسطة الحجم . وقد يستعان بنوع آخر من الموازين-مثل ميزان « ووكر Walker steelyard » للعينات الكثيرة الحجم ، أو ميزان « جولى الزنبركى Jollyls spring balance » للعينات الصغيرة .

٢) طريقة قنينة الكثافة (بيكنوميتر Pycnometer) للقطـع الصغير من معادن الزينة . ويمكن إستخدام طريقة مماثلة مبسطة لتقدير كمية الماء المزاح وذلك باستعمال مخبار مدرج .

٣) إستخدام السوائل الثقيلة Heavy liquids ذات الوزن النوعى المعروف .

الخواص الحرارية

خاصية الانصهار Fusibility : هى خاصية هامة ، ثابتة الدرجة ومميزة للمعدن الواحد إذا كان نقيا ، وتساعد كثيراً فى التعرف على بعض المعادن . فينصهر ملح الطعام عند ٨٠٠° م ، الفضة ٩٦٠° ، الذهب ١٠٦٢° ، الكوارتز

ما بين ١٦٥٠° — ١٧٠٠° والبلاتين ١٧٥٥° م . ولبعض المعادن درجتى إنصهار مختلفتين مثل معدن الكبريت ، وبعضها الآخر يتحول مباشرة إلى غاز دون أن يمر بحالة الأنصهار مثل الزرنيخ .

الخواص المغناطيسية والكهربية والإشعاعية

الخواص المغناطيسية Magnetism : يتأثر كل من معدن ماجنيتيت ومعدن بيروتيت (البايريت المغناطيسى — كبريتيد الحديد) Pyrrhotite بالقضيب المغناطيسى العادى ، وتتجذب معظم المعادن الأخرى إلى المغناطيس الكهربى Elcetromagnet بدرجات متفاوتة . وعادة ما تكون معادن الحديد مغناطيسية ولكن ليست هذه قاعدة ، فلا ينجذب الهماتيت مثلا إلى المغناطيس العادى ، وأحياناً تكون بعض المعادن التى لا تحتوى على عنصر الحديد مغناطيسية مثل معدن مونازيت (فوسفات فلزات السيريوم) Monazite . وقد تكون بعض المعادن ذات مغناطيسية تاثريه « دياماجنتيك» Diamagnetic ، أى تتنافر مع المغناطيس إذا قربت منه ، وذلك لأن مثل هذه المعادن تتأثر بالمغناطيس فتكتسب مغناطيسية مشابهة له وتتنافر معه ، مثل معدن كوارتز ، زيركون . وقد تنجذب بعض المعادن الأخرى للمغناطيس وتسمى هذه الحالة مغناطيسية حديدية « بارامانجتيك » Paramagnetic مثل معدن ماجنيتيت . وعلى أساس الخاصية المغناطيسية يمكن فصل المعادن بواسطة مغناطيس كهربى ، فيمكن التحكم فى قوة المغناطيسية الكهربية وتغييرها إلى درجات متفاوتة يسهل معها فصل المعادن ذات المغناطيسية المختلفة الدرجة ، كما هو المتبع مثلا فى تنقية معدن الماجنتيت من الأباتيت ، ومعدن المونازيت من ماجنيتيت وجارنت .

الخواص الكهربية Electricity : قد تتولد شحنات كهربية فى بعض المعادن نتيجة للاحتكاك أو الحرارة أو الضغط . وتختلف درجة التكهرب بإختلاف المعادن ، ويستغل هذا التفاوت فى درجة التكهرب لفصل المعادن القابلة للتكهرب بطريقة **التصنيف الكهروستاتيكى** Electrostatic separation process وتتلخص هذه الطريقة فى جعل المسحوق المجفف للخام يتساقط على اسطوانة حديدية مشحونة بالكهرباء أثناء دورانها ، فتتكهرب مكونات الخام بدرجات متفاوتة وبشحنات كهربية مماثلة لشحنة الاسطوانة الدائرة ، مما يجعل حبيبات الخام تتنافر إلى أعلى بدرجات متفاوتة كذلك (على هيئة رذاذ مطر أو « دش » مختلف الشدة) يمكن معها إستقبال كل مجموعة متجانسة منفصلة على إنفراد .

وتعرف خاصية التكهرب الناتجة عن التسخين بالتكهرب الحرارى Pyroelectricity ، وتعرف خاصية التكهرب الناتجة عن الضغط بالتكهرب الضغطى Piezoelectricity ، وتتولد فى إتجاه المحور القطبى لبلورات بعض المعادن مثل الكوارتز الذى يستخدم كثيراً فى صناعة الأجهزة اللاسلكية .

الخواص الاشعاعية Radioactivity تمتاز بعض المعادن المحتوية على عناصر ذات وزن (عدد) ذرى عال باصدار إشاعات غير مرئية Radiations or emanations تؤثر فى لوح فوتوغرافى حساس من نوع معين ، ويمكن إظهار هذه التأثيرات الإشعاعية بطرق معينة فى تحميض اللوح الفوتوغرافى . وأهم العناصر المشعة هى اليورانيوم والثوريوم ، وأهم المعادن المشعة هى : بتشبلند Pitchblend ، أوتونيت Autunite ، مونازيت Monazite ، توريت Thorite ، كارنوتيت Carnotite .

ويمكن الكشف عن المعادن المشعة بواسطة أجهزة خاصة حساسة للاشعاعات التي تصدرها هذه المعادن ، حيث يمكن تحويلها إلى طاقة صوتية يمكن سماعها وتقدير قوتها بالعدد مثل (عداد جايجر) Geiger counter ، أو بأجهزة أخرى تحول هذه الإشعاعات إلى طاقة يمكن رؤيتها .

التركيب الكيميائي للمعادن

يتكون المعدن إما من عنصر منفرد في حالة شبه نقية ويسمى معدن عنصري مثل الذهب والكبريت والجرافيت ، أو من عدة عناصر مختلفة متحدة حسب القوانين الكيميائية المعروفة ، فمثلا يتكون معدن بايريت من عنصري الحديد والكبريت بنسبة معينة ثابتة . وهناك بعض المعادن المعقدة التركيب والتي تتكون من عدة عناصر يتشابه بعضها فيما بينها لدرجة تسمح بإحلال عنصر محل آخر مشابه له ، كما هو الحال في مجموعات المعادن المتشاكلة مثل مجموعة البلاجيوكلاز والأوليفين .

ويمكن التعبير عن التركيب الكيميائي لمعدن بالإستعانة بالرموز الكيميائية في هيئة قانون مبسط . ويبين القانون التركيبي نوع العناصر المكونة للمعدن وكذلك النسبة التي تتحد بها هذه العناصر مع بعضها ، بمعنى أنه يوضح النسبة بين الأوزان الذرية لجميع العناصر المكونة لمعدن ، ومثلا يعني القانون الكيميائي لمعدن هاليت « ص كل » إتحاد ذرة من الصوديوم مع ذرة من الكلور ، أي إتحاد ٢٣٫٠ جزءا وزنيا من الصوديوم مع ٣٥٫٤٦ جزءا وزنيا من الكلور . ويعني القانون الكيميائي لمعدن بايريت « ح كب٢ » إتحاد ذرة من الحديد مع ذرتين من الكبريت ، أي أن ٥٥٫٨٤ جزءا من الحديد يتحد مع ٢ × ٣٢٫٠٦ = ٦٤٫١٢ جزءا وزنيا من الكبريت .

ويتطلب إستنتاج القانون الكيميائى للمعدن معرفة الوزن الكمى لكل من العناصر المكونة لوزن معين وثابت منه — (عادة ١٠٠ جزء وزنى) — وبعبارة أخرى معرفة النسب المئوية لوزن كل من للعناصر المكونة للمعدن ، ثم تقسم هذه الأوزان النسبية لكل عنصر على الوزن الذرى الخاص به وذلك لتعيين نسبة عدد ذرات كل عنصر إلى الآخر . ثم يوضح القانون الكيميائى للمعدن بواسطة الرموز الكيميائية مع أبسط نسبة (أعداد صحيحة) لعدد ذرات كل من العناصر المكونة له . فلو أثبت التحليل الكيميائى لمعدن بورنيت Bornite أن :—

التحليل النوعى Qualitative Analysis	نح	ح	كب
التحليل الكمى Quantitative Analysis :	٪٦٣٫٣	٪١١٫١	٪٢٥٫٦
الأوزان الذرية لهذه العناصر :	٦٣٫٥٧	٥٥٫٨٤	٣٢٫٠٦
نسبة الإتحاد (النسبة المئوية للوزن / الوزن الذرى) :	٠٫٩٤٤ :	٠٫١٩٨ :	٠٫٧٩٢
وأبسط صورة لهذه النسبة :	٥٫٠٢ :	١٫٠٠ :	٤٫٠٠
أى أن نسبة عدد الذرات :	٥ :	١ :	٤

أى أن هذا المعدن يتكون باتحاد خمسة ذرات من النحاس (نح) ، وذرة واحدة من الحديد (ح) مع أربعة ذرات من الكبريت (كب) ، ويوضح القانون الأولى Emperical formula لمعدن بورنت بالرمز (نح$_{٥}$ ح كب$_{٤}$)

وأحيانا يصعب تعيين العناصر المكونة للمعدن فى حالاتها المفردة ، وخاصة عند التحليل النوعى للمعادن ذات التركيب الكيميائى المعقد ، وفى مثل هذه الحالات يستعان بتقديرات النسبة المئوية لأكاسيد العناصر المكونة للمعدن ثم تقسم النسب المئوية على الأوزان الجزيئية لأكاسيدها لأستنتاج نسبة إتحاد الأكاسيد مع بعضها.

وأحيانا أخرى يزداد تعقيد للتركيب الكيميائى للمعدن وخاصة فى مجموعات المعادن المتشاكلة حيث يمكن إحلال عنصر محل آخر . وفى هذه الحالة يستعان بالنسب المئوية لأوزان أكاسيد العناصر المكونة للمعدن ، والأوزان الجزيئية لها وإعتبار أكاسيد العناصر المتشابهة كأنها وحدة ، فمثلا أنهت متوسط التحليل الكيميائى لعينتين من معدن جارنت Garnet أن : —

التحليل النوعى :	س ا$_{٢}$	لو$_{٢}$ا$_{٣}$	ح$_{٢}$ا$_{٣}$	ح ا	ما ا	كا ا	م ا
التحليل الكمى ٪ :	٣٨٫٦٨	٢١٫٢٠	٠٫٥١	٣٠٫٦٢	٥٫٦٦	١٫٩١	١٫٤٢
الأوزان الجزيئية :	٦٠٫١	١٠١٫٩	١٥٩٫٦	٧١٫٨	٤٠٫٣	٥٦٫١	٧٠٫٩
نسبة إتحاد الأكاسيد :	٠٫٦٤٤	٠٫٢٠٨	٠٫٠٠٣	٠٫٤٢٥	٠٫١٤٢	٠٫٠٣٤	٠٫٠٢٠

٠٫٦٤٤ : ٠٫٢١١ : ٠٫٦٢١

رباعية التكافؤ ثلاثية التكافؤ ثنائية التكافؤ

النسب الجزيئية : ٣٫٠٥ : ١٫٠٠ : ٢٫٩٤

وأبسط صورة لها : ٣ : ١ : ٣

ويصبح ٣ (س ا$_{٢}$) (لو ، ح)$_{٢}$ ا$_{٣}$ ٣ (ح ، ما ، كا ، م) ا

أو (لو ، ح)$_{٢}$ (ح ، ما ، كا ، م)$_{٣}$ س$_{٣}$ ا$_{١٢}$ هو القانون الكيميائى لمعدن جارنت (عينة ألمانديت Almandite) .

وتستخدم هذه الطرق الدقيقة لتعيين التركيب الكيميائى للمعادن غير المعروفة أو التى يصعب التعرف عليها بواسطة بعض الخواص الطبيعية الثابتة المميزة . وعادة ما يمكن الإستغناء عن جزء كبير من هذه التحليلات أو تسهيلها وذلك فى حالة ما إذا أمكن التعرف على المعدن بواسطة خواصه الطبيعية الظاهرة ، مثل الصلادة ، البريق ، الوزن النوعى والأنفصام ، إلى درجة تسمح

بتحديد مكانه أو وضعه بين أفراد قلائل من المعادن المتشابهة ظاهريا . ويمكن حينئذ إجراء بعض التجارب البسيطة السريعة لتعيين نوع العناصر الأساسية المكونة للمعدن . وقد تسبق هذه التجارب بعض المحاولات لملاحظة ما إذا كان المعدن قابل للذوبان في الماء ، أو يتفاعل مع حامض مع حدوث فوران، أوما إذا كان ينصهر بسهولة أو بصعوبة، ونوع الغاز المتصاعد عند التسخين، أو إذا كان يغير لون اللهب ... الخ . وتتطلب هذه التجارب بعض الأجهزة البسيطة مثل مصباح بنزن ، أنبوبة تفسخ ، بورى ، Blowpipe ، مكعبات فحم Charcoal blocks ، ملقط Forceps ، أنابيب زجاجية ذات طرف واحد مفتوح أو مفتوحة الطرفين ، سلك بلاتين Platinum wire ، مطرقة أو شاكوش وبعض المواد الكيميائية .

الكيمياء البلورية

من البديهى أن تتوقف صفات المادة على التركيب الكيميائى لها وأن هذه الصفات تتغير حسب تغير التركيب الكيميائى ، ولكن أحياناً توجد بعض معادن مختلفة إلى حد ما فى جميع صفاتها ، سواء الطبيعية منها أو الكيميائية ، بالرغم من أنها ذات تركيب كيميائى واحد مثل الماس والجرافيت . والمعروف أن كل مركب كيميائى متبلور يتميز بنوع خاص وثابت من التركيب الذرى البلورى Crystal Atomic Structure ، ومن هنا يمكن إستنتاج أن الخواص الكيميائية والطبيعية لبلورات المعادن لا تتوقف على التركيب الكيميائى فحسب بل كذلك على التركيب الذرى البلورى . ويتوقف التركيب الذرى البلورى لمادة ما على ما يلى :

١) **الترتيب الفراغى** Space lattice للذرات أو الأيونات أو الجزيئات فيها.
٢) **طريقة الرص** Close packing أو درجة التقارب بين مكوناتها .
٣) **قوى الرباط الكيميائى** Chemical bonds بين مكوناتها .

ولا يتسع المجال هنا لدراسة التركيب الذرى البلورى والخواص الكيميائية البلورية للمعادن ، ويمكن الإطلاع على بعض المراجع الأخرى المتخصصة * فى هذا الموضوع .

تصنيف المعادن

توجد عدة طرق مختلفة لتصنيف المعادن تعتمد كل منها على أسس معينة . وقد قدم العالم نيجلى Niggli التصنيف البلورى الكيميائى Crystal - chemistry classification الذى يعتمد على الخواص الكيميائية البلورية . أما العالم ريد Read فقد تقدم بطريقة ثانية لتصنيف المعادن إلى مجموعات تعتمد أولا على القيمة الإقتصادية للعناصر الأساسية المكونة لها بالرغم مما قد يكون فيما بينها من تباعد بلورى أو كيميائى أو بيئى ، ثم صنف أفراد هذه المجموعات على نظام معين متبعاً فى ذلك الترتيب الدورى للعناصر المكونة لهذه الأفراد ، وهذا هو **التصنيف الإقتصادى** Economic chemical classification . والطريقة

---

* ١) زغلول ، م . ز ، ١٩٦٥ — علم البلورات (طبعة ثانية) ، دار المعارف للطباعة — القاهرة .

٢) حلمى ، م . ع ، ١٩٦٤ — علم المعادن (طبعة ثانية) ، مكتبة الانجلو المصرية — القاهرة .

٣) الشناوى ، م . ع ، ١٩٦٤ — مقدمة فى علم البلورات والمعادن والصخور (طبعة ثانية) دار المعارف .

الشائعة هي التصنيف الكيميائي Chemical classification التي تقدم بها العالم الأمريكي ج. د. دانا J. D. Dana وهي التي تستخدم على نطاق واسع . وتعتمد هذه الطريقة على نوع الشق الحامضي في تركيب المعادن، وبذلك أمكن تصنيفها إلى مجموعات مختلفة مثل الأكاسيد ، الهالوجينات (كلوريدات ـ فلوريدات) ، الكبريتيدات ، الكربونات، الكبريتات ، الفوسفات ، السيليكات.

ومن أهم مميزات هذا التصنيف أن أفراد المجموعات التي تحتوي على شق حامضي مشترك تتشابه فيما بينها تشابها كبيراً يفوق التشابه الذي قد يوجد بين أفراد المجموعات التي تحتوي على شق قاعدي مشترك ، فمثلا تتشابه أفراد مجموعة الكبريتات بدرجة أكبر من تشابه معادن الحديد أو النحاس فيما بينها ، وذلك لأن المجموعات الأنيونية Anionic groups (ا-٢ ، كل-١ ، فل-١ ، (ك ا٣)-٢ ، (كب ا٤)-٢ ...) أي الشق الحامضي يتكون من عناصر كبيرة الحجم نسبيا (ذات نصف قطر ذرى كبير) ويميل إلى التحكم في نظام التعبئة أو طريقة رص الذرات في الترتيب الفراغي ، وبذلك يصبح هو المسئول أساساً عن الخواص الكيميائية والبلورية للمعادن . وليس هذا فحسب ، بل أن أفراد المجموعات ذات الشق الحامضي المشترك قد تتواجد في بيئات جيولوجيه ـ أي ذات نشأه Paragenesis ـ متشابهة إن لم تكن موجودة ، فقد لوحظ أن المعادن الكبريتيدية تتكون مجتمعة مع بعضها في عروق ورواسب المحاليل الحارة أو أثناء عملية التمايز في المرحلة الأولى من تصلد الصهير (مرحلة الصهير القويم) ، في حين تتكون أفراد المجموعات ذات الشق القاعدي المشترك تحت ظروف وبيئات جيولوجية عديدة مختلفة .

تصنف المعادن على أساس الشق الحامضي المكون لها إلى أقسام تسمى « نظم » Classes ويحتوي كل نظام على مجموعات أصغر مختلفة فيما بينها ولكنها

متشابهة فى صفة مشتركة هى نوع الشق الحامضى وتسمى هذه المجموعات الصغيرة **عائلات** Families ، يتكون كل منها من أفراد مختلفة تسمى **انواع** Species وقد تتشابه بعض أنواع العائلة الواحدة فى صفاتها وتسمى حينئذ «**مجموعة**» Group أو «متسلسلات» Series . ويتكون النوع من عدة **اصناف او عينات** Varieties مختلفة فيما بينها إلى حد ما ولكن تجمعها مع بعضها الصفات النوعية .

وفيما يلى موجز مبسط لهذا التصنيف :

١) المعادن العنصرية Native Minerals

أ ـ **المعادن العنصريه الفلزية** Native Metals : مثل الذهب (ذ) والفضة (ق) والنحاس (نح) والبلاتين (بلا) .

ب ـ **المعادن العنصرية اللافلزية** Native Non-metals : مثل الكبريت (كب) والماس (ك) والجرافيت (ك) .

٢) المعادن الكبريتيدية والأملاح الكبريتية Sulfides and Sulfosalts

أ ـ **المعادن الكبريتيدية** : أرجينتيت (ق$_{٢}$ كب) Argentite ،
كالكوسيت (نح$_{٢}$ كب) Chalcocite ، بورنيت (نح$_{٥}$ ح كب$_{٤}$) Bornite ،
كالكوبايريت (نح ح كب$_{٢}$) Chalcopyrite ،
بايريت (ح كب$_{٢}$) (مكعبى) Pyrite ،
ماركازيت (ح كب$_{٢}$) (معينى قائم) Marcasite ،
جالينا (ر كب) Galena ، سفاليريت (خ كب) Sphalerite ،
سنابار (ى كب) كبريتيد الزئبق Cinnabar ،
ريلجار (ز كب) كبريتيد الزرنيخ Realger ،

أوريمنت ($ز_2$ كب$_3$) ‹ Orpiment

أرسنيوبايريت (ح ز كب) ‹ Arsenopyrite

ستيبنيت (نت$_2$ كب$_3$) ‹ Stibnite

موليبدينيت (مو كب$_2$) ‹ Molybenite.

ب ـ الأملاح الكبريتية Sulfosalts : هي كبريتيدات مزدوجة تتكون باتحاد فلز وشبه فلز (الزرنيخ والأنتيمون) مع الكبريت مثل معدن تتراهيدريت (غ ، ح ، خ ، ف)$_{12}$ نت$_4$ كب$_{13}$ Tetrahedrite

٣) . معادن الأكاسيد Oxides

أ ـ أكاسيد فلزات لا مائية Non-hydrated Metal Oxides :-

ماجنيتيت (ح$_3$ أ$_4$) ‹ Magnetite   هيماتيت (ح$_2$ أ$_3$) ‹ Hematite

كروميت (ح كر$_2$ أ$_4$) ‹ Chromite   إلمنيت (ح تي أ$_3$) ‹ Ilmenite

كوبريت (نح$_2$ أ) ‹ Cuprite   زنكيت (خ أ) ‹ Zincite

كوراندوم (لو$_2$ أ$_3$) ‹ Corundum   روتيل (تي أ$_2$) ‹ Rutile

كاسيتريت (ق أ$_2$) ‹ Cassiterite   بايرولوسيت (م أ$_2$) ‹ Pyrolusite

يورانينيت (يو أ$_2$) ‹ Uraninite

أكاسيد سيليكون (س أ$_2$) مثل كوارتز Quartz

ب ـ أكاسيد فلزات مائية Hydrated Metal Oxides :

جوثيت (ح$_2$أ$_3$ ـ يد$_2$ أ) Goethite

مانجانيت (م$_2$ أ$_3$ ـ يد$_2$ أ) Manganite

أكاسيد سيليكون مائية (س أ$_2$ ـ ن يد$_2$ أ) مثل أوبال Opal .

٤) معادن الهالوجينات (الهالويدات) Haloids

هاليت (ص كل) Halite ، فلوريت (كا فل$_{٢}$) Flourite ، كريوليت (ص$_{٣}$لو فل$_{٦}$) Cryolite .

٥) معادن الكربونات والنيترات والبورات

أ - الكربونات Carbonates **مثل مجموعة الكالسيت (ثلاثي) :**

كالسيت (كا ك ا$_{٣}$) Calcite ، دولوميت - كا ما (ك ا$_{٣}$)$_{٢}$ Dolomite

ماجنيزيت (ما ك ا$_{٣}$) Magnesite ، سيدريت (ح ك ا$_{٣}$) Sidtrite

مجموعة أراجونيت (معيني قائم) :

أراجونيت (كا ك ا$_{٣}$) Aragonite ، ويذريت (با ك ا$_{٣}$) Witherite

سترونشيانيت (ست ك ا$_{٣}$) Strontianite

سيروسيت (ر ك ا$_{٣}$) Cerussire

مجموعة الملاكيت (أحادي الميل)

ملاكيت نح$_{٢}$ ك ا$_{٣}$ - (يد ا)$_{٢}$ Malachite

أزوريت نح$_{٣}$ (ك ا$_{٣}$)$_{٢}$ - (يد ا)$_{٢}$ Azurite

ب - النيترات Nitrates: مثل نتر الصودا (ص ن ا$_{٣}$) Soda Niter .

ح - البورات Borates : مثل كوليمانيت (كا$_{٢}$ ب$_{٦}$ ا$_{١١}$ - ٥ يد$_{٢}$ ا) Colemanite ، كيرنيت (ص$_{٢}$ ب$_{٤}$ ا$_{٧}$ - ٤ يد$_{٢}$ ا) Kernite ، بوراكس (ص$_{٢}$ ب$_{٤}$ ا$_{٧}$ - ١٠ يد$_{٢}$ ا) Borax .

٦) معادن الكبريتات ـ الكرومات ـ المولبدات ـ التنجستات

ا ـ معادن الكبريتات Sulphates :

كبريتات لامائية (مجموعة الباريت ـ فصيلة المعينى المتعامد) :ـ

أنهيدريت (كا كب ا$_{٤}$) Anhydrite ، سيليستيت (ست كب ا$_{٤}$) Celestite ،
باريت (با كب ا$_{٤}$) Barite ، أنجليزيت (ر كب ا$_{٤}$) Anglesite .

كبريتات مائية Hydrous Sulphates :

جبس (كا كب ا$_{٤}$ ـ ٢ يد$_{٢}$ ا) Gypsum

كالكانثيت (نح كب ا$_{٤}$ ـ ٥ يد$_{٢}$ ا) Chalcanthite

ملانتريت (ح كب ا$_{٤}$ ـ ٧ يد$_{٢}$ ا) Melanterite

إبسوميت (ما كب ا$_{٤}$ ـ ٧ يد$_{٢}$ ا) Epsomite

ب ـ معادن الكرومات Chromates : مثل كروكويزيت (ر كر ا$_{٤}$)
. Crocoisite

حـ ـ معادن المولبيدات Molybdates : مثل ولفينيت (ر مو ا$_{٤}$)
. Wulfenite

و ـ معادن التنجستات Tungstate : مثل ولفراميت (ح ، م) تن ا$_{٤}$ ،
Wolframite ، ومعدن شيليت (كا تن ا$_{٤}$) Scheelite .

٧) معادن الفوسفات ـ الزرنيخات ـ الفانادات

ا ـ معادن الفوسفات Phosphates : مونازيت (سر ، لن ، ثو) فو ا$_{٤}$
Monazite ، أباتيت كا$_{٥}$ (فل ، كل ، يد ا) (فو ا$_{٤}$)$_{٣}$ Apatite ، تور كواز
نح لو$_{٦}$ (فو ا$_{٤}$)$_{٤}$ ٨ يد ا ـ ٤ يد$_{٢}$ ا Turquois ، توربرنيت نح (يو ا$_{٢}$)$_{٢}$
(فو ا$_{٤}$)$_{٢}$ + ٨ ـ ١٢ يد$_{٢}$ ا Torbernite ، أوتونيت كا (يو ا$_{٢}$)$_{٢}$
(فو ا$_{٤}$)$_{٢}$ + ٨ ـ ١٢ يد$_{٢}$ ا Autunite .

ف ـ معادن الفانادات Vanadates : فانادينيت رص$_5$ كل (فا أ$_4$)$_3$ Vanadinite ،
كارنوتيت بو$_2$ (يو أ$_2$)$_2$ (فا أ$_4$)$_2$ + ٣ يد$_2$ أ Carnotite .

٨) معادن السيليكات Silicates

تتكون هذه المعادن من وحدة (س أ$_4$)$^{-4}$ فى هيئة رباعى الأوجه ، مكونة من ذرة سيليكون فى المركز ويحيط بها أربع ذرات من الأكسجين فى كل من الأركان الأربعة لشكل رباعى الأوجه . وبارتباط هذه الوحدة مع وحدة أخرى أو أكثر تنتج أنواع مختلفة من السيليكات .ـ

١) مجموعة رباعى الأوجه المستقلة (س أ$_4$)$^{-4}$ Independant tetrahedral group

: تتكون بلورات هذه المعادن من وحدات (س أ$_4$) (شكل ١٨) مرتبطة ببعضها بواسطة كاتيونات أخرى مثل الماغنسيوم والحديد ، ومن أمثلة هذه المعادن :ـــ

وحدة رباعى الأوجه (س أ$_4$)$^{-4}$

(شكل ١٨)

أوليفين (ما ، ح)$_2$ س أ$_4$ Olivine ، جارنت (سيليكات أيونات ثنائية وثلاثية التكافؤ) Garnet ، زيركون (كو س أ$_4$) Zircon ، توباز (لو$_2$ (فل ، يد)$_2$ س أ$_4$) Topaz ، أندالوسيت (لو$_2$ س أ$_5$) Andalusite ، سيليمانيت (لو$_2$ س أ$_5$) Sillimanite ، كايانيت (لو$_2$ س أ$_5$) Kyanite ، شتوروليت (لو$_4$ (ح ، يد) لو س$_2$ أ$_{12}$) Staurolite ، سفين (كا تى س أ$_5$) Sphene .

٢) مجموعة رباعى الأوجه المزدوجة :

(س$_{٢}$ ا$_{٧}$)$^{-٦}$ Double tetrahedral group

تتكون أفراد هذه المجموعة باشتراك وحدتين من (س ا$_{٤}$) فى ذرة أكسجين (شكل ١٩) وتتكرر هـــذه الوحدة المزدوجة بارتباطها بواسطة كاتيونات أخرى كما فى معـدن هيميورفيت خ$_{٤}$ (يد ا)$_{٢}$ س$_{٢}$ ا$_{٧}$ – يد$_{٢}$ ا Hemimorphite .

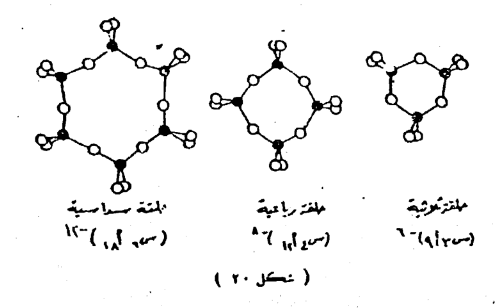
رباعى الأوجه المزدوج
(س$_{٢}$ ا$_{٧}$)$^{-٦}$

(شكل ١٩)

٣) مجموعة رباعى الأوجه الحلقية Ring Structure :

أ – **حلقة ثلاثية** Trigonal Ring (س$_{٣}$ ا$_{٩}$)$^{-٦}$ وتتكون باشتراك ثلاث وحدات (س ا$_{٤}$) شكل (١٩ – ا) مثل معدن :

بنيتوتيت با تى (س$_{٣}$ ا$_{٩}$) Benitotite ، رودونيت (م س ا$_{٣}$) Rhodonite ولاستونيت (كا س ا$_{٣}$) Wallastonite .



(شكل ٢٠)

ب ـ حلقة سداسية Hexagonal Ring $(\text{س}_6\text{أ}_{18})^{-12}$: تتكون أفراد هذه المجموعة من ترابط ست وحدات (س أ_4) شكل (٢٠ ـ حـ) تتراص في هيئة حلقات فوق بعضها في أعمدة ، وتترابط هذه الحلقات ببعضها بواسطة كاتيونات أخرى ، مثل :

معدن بيريل ($\text{بل}_3\text{لو}_2\text{س}_6\text{أ}_{18}$) Beryl ، تورمالين (سيليكات البورون والالومنيوم + ص ، ح ، ما ، ليثيوم) Tourmaline ، كورديريت ($\text{ما}_2\text{لو}_4\text{س}_5\text{أ}_{18}$) Cordierite .

٤) مجموعة رباعي الأوجه السلسلية Chain Structure وتشمل :ـ

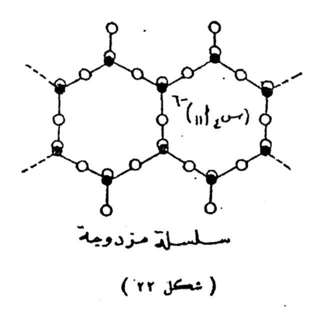
أ ـ تراكيب سلسلية مفردة (شكل ٢١) Single Chain $(\text{س أ}_3)^{-2}$ كما في معادن البيروكسينات Pyroxenes مثل : أنستاتيت (ما س أ_3) Enstatite ، هيبرثين (ما ، ح) س أ_3 Hyperthene ، دايوبسيد (كا ، ما) $\text{س}_2\text{أ}_6$ Diopside ، أوجيت كا (ما ، ح ، لو) (لو ، س) $_2$ أ_6 Augite :

(س أ٣)

سلسلة مفردة

(شكل ٢١)

ب ـ تراكيب سلسلية مزدوجة $(\text{س}_4\text{أ}_{11})^{-6}$ Double Chain :



سلسلة مزدوجة

(شكل ٢٢)

وتنتج من ترابط سلسلتين باقتسام ذرات الأكسجين بينهما عند مسافات منتظمة (شكل ٢٢) كما فى معادن الأمفيبولات Amphiboles مثل تريموليت كا$_2$ ما$_5$ س$_8$ أ$_{22}$ (يدا)$_2$ Tremolite ، هورنبلند (سيليكات معقدة كا ، ح ، ما ، يدا) Hornblende .

حـ — تراكيب سلسلية رباعية Quadriple Chain . تتكون من ترابط أربعة سلاسل باقتسام ذرات الأكسجين بينها مثل معدن إبيدوت كا$_2$ (لو، ح)$_3$ س$_3$ أ$_{12}$ (يدا) Epidote .

٥) مجموعة رباعيات الأوجه الصفائحية Sheet Structure : تتكون من إرتباط وحدات (س أ$_4$) عند ثلاثة أركان من كل منها وتمتد فى إتجاهين فى تركيب على هيئة صفائح لانهائية Endless Sheets (س$_4$ أ$_{10}$)$^{-4}$ (شكل ٢٣) وتشمل

ا ـ معادن الميكا

ماسكوفيت بو لو$_{3}$ س$_{3}$ ا$_{10}$ (يد ا)$_{2}$ Muscovite ، بايوتيت بو (ما ، ح)$_{3}$ لو س$_{3}$ ا$_{10}$ (يد ا)$_{2}$ Biotite .

ب ـ معادن الكلوريت .

كلوريت (ما ، ح)$_{5}$ (لو ، ح)$_{2}$ س$_{3}$ ا$_{10}$ (يد ا)$_{8}$ Chlorite ، سربنتين ما$_{6}$ س$_{4}$ ا$_{10}$ (يد ا)$_{8}$ Serpentine .

حـ ـ معادن التالك .

تالك ما$_{3}$ س$_{4}$ ا$_{10}$ (يد ا)$_{8}$ Talc .

تركيب صفائحي (س$_{4}$ ا$_{10}$)$^{-4}$

(شكل ٢٣)

ء ـ المعادن الطينية مثل كاولينايت لو$_{4}$ س$_{4}$ ا$_{10}$ (يد ا)$_{8}$ Kaolinite .

٦) مجموعة رباعي الأوجه الشبكي ذو الأبعاد الثلاثة Three-dimensional Network : تتكون أفراد هذه المجموعة نتيجة إرتباط رباعيات الأوجه (س ا$_{4}$) بعضها ببعض عند أركانها الأربعة (شكل ٢٤) ، بمعنى أن كل ذرة أكسجين تقتسم بين إثنين من وحدات رباعيات الأوجه وتكون نسبة السيليكون للأكسجين فيها (١ : ٢) ، ورمز التركيب (س$_{3}$ ا$_{6}$)^{0} . وتشمل هذه المجموعة .

ا ـ أكاسيد السيليكون (س ا$_{2}$) مثل معدن كوارتز Quartz ، ترديميت Tredimite وكرستوباليت Cristoblite .

ب ـ معادن الفلسبارات

Felspars ومنها :

١) فلسبارات بوتاسية

Potash Felspaas مثل :

أرثوكلاز بو لو س$_{٣}$ ا$_{٨}$

Orthoclase (أحادى الميل) ،

ميكروكلين بو لو س$_{٣}$ ا$_{٨}$

Microcline (ثلاثى الميل) .

تركيب شبكى (س$_{٢}$ أ$_{٦}$) له

(شكل ٢٤)

٢) فلسبارات بلاجيوكلازية (فلسبارات الكالسيوم والصوديوم)

مثل . أنورثيت كا لو$_{٢}$ س$_{٢}$ ا$_{٨}$ Anorthite ، بايتونيت Bytownite ،

لابرادوريت Labradorite أنديزين Andisine ، أوليجوكلاز Oligoclase ،

ألبيت ص لو س$_{٣}$ ا$_{٨}$ Albite .

حـ ـ معادن فلسباتويدز Felspathoids : وتشبه الفلسبارات إلا أنها

أفقر منها فى كمية السيليكا مثل لوسيت بو لو س$_{٢}$ ا$_{٦}$ Leucite .

و ـ معادن الزيوليت Zeolites : وهى سيليكات الألومنيوم والصوديوم

وتحتوى على نسبة كبيرة من الماء .

الرواسب المعدنية

أصل المعادن وتجمعاتها وظهورها فى الطبيعة

تبحث هذه الدراسة فى طريقة تكوين الرواسب المعدنية من حيث أصلها Origin وكيفية نشأتها وتجمعاتها Paragenesis ، وظهورها فى الطبيعة Occurrence .

تختلف المعادن إختلافا بينا يتوقف على أصلها ، فينشأ بعضها من مصهور صخرى « صهير أو ما جما Magma » وبعضها من محاليل ، وقد ينشأ البعض الآخر من أصل غازى ، أو من مادة صلبة سبق تكوينها ثم اضطرت إلى التغير أو التحول نتيجة لتغير الظروف الطبيعية المحيطة بها . وتتكون المعادن فى تجمعات طبيعية مميزة تدل دلالة واضحة على أصلها وكيفية نشأتها ، فالمعادن المكونة لإحدى التجمعات مرتبطة ببعضها إرتباطاً وثيقاً فى أصلها وبيئتها ، وغالباً ما تعبر تعبيراً صادقاً عن نشأتها من أصل واحد ، أى من مكونات متشابهة العناصر ، بل تعبر كذلك عن ظروف بيئية أى ظروف نشأة واحدة ، فمثلا يدل تجمع معادن أباتيت ، فلوريت ، توباز ، تورمالين على أنها نشأت من أصل يحتوى على عناصر الفوسفور والبورون والفلور والكلور ، وأنها تكونت تحت درجة عالية من الحرارة والضغط ، فى حين أن تجمعها من معادن الكبريتيدات مثل بايريت، ستيبنيت (نت$_2$ كب$_3$) Stibnite وأرجينتيت (فض$_2$ كب) Argentite تدل دلالة قاطعة على أنها نشأت من أصل يحتوى على عنصر الكبريت بجانب عناصر أخرى ، تحت ظروف متوسطة من الحرارة والضغط . وتتكون الرواسب المعدنية بطرق مختلفة أهمها ما يلى .

تكون المعادن من الصهير أو الحمم

الصهير عبارة عن سائل صخرى منصهر ، معقد التركيب ، ثقيل القوام ولزج لدرجة تسمح بتحرك العناصر المكونة له بحرية فى درجات الحرارة العالية ، ويوجد على أعماق بعيدة تحت سطح القشرة الأرضية . وأما الحمم أو اللافا Lava فهى سائل صخرى منصهر يظهر على سطح الأرض متدفقا من فوهات البراكين الثائرة . ويتوقف نوع المعادن الناتجة من الصهير على تركيبه الكيميائى . ويتكون الصهير بصفة عامة من :

١) **مكونات غير طيارة** Non-volatile constituents . ذات درجة إنصهار عالية تزيد على ١٠٠٠°م ، وتتكون ٩٩ ٪ من هذه المواد من أكاسيد سبعة : أحدها حمضى وهو ثانى أكسيد السليكون (سيا$_٢$) ويوجد بنسبة عالية جداً تتراوح ما بين ٣٥٪ إلى ٧٥٪ من مجموع المكونات غير الطيارة . وأما باقى الأكاسيد فهى قاعدية وتشمل أكسيد الألومنيوم (لو$_٢$ا$_٣$ ، صفر – ٢٥ ٪) وأكاسيد الحديد وزوالحديديك (ح ا ، ح$_٢$ا$_٣$ ، صفر – ٢٠ ٪) وأكسيد الماغنسيوم (م ا ، صفر – ٤٥ ٪) وأكسيد الكالسيوم (كا ا ، صفر – ٢٠ ٪) وأكسيد الصوديوم (ص$_٢$ ا ، صفر – ١٦ ٪) وأكسيد البوتاسيوم (بو$_٢$ ا ، صفر – ١٢ ٪) . ولا توجد كل هذه الأكاسيد مجتمعة فى كل ماجما ، فالصهير الغنى بالسيليكا والألومينا والقلويات « صوديوم – بوتاسيوم » عادة ما يكون فقيرا فى أكاسيد الكالسيوم والماغنسيوم والحديد . وتكثر الأكاسيد الثلاثة الأخيرة فى الصهير الفقير فى السيليكا والأولومينا والقلويات .

٢) **مكونات طيارة** Volatile constituents : مثل الفلور ، الكلور ،

البورون ، الكبريت ، بخار الماء وثاني أكسيد الكربون ، وتوجد بكميات ضئيلة جداً في أنواع الصهير المختلفة ، ولكن قد تزداد كمياتها نتيجة تركيزها أثناء تصلد الصهير . وهذه المواد الطيارة ذات أهمية بالغة في تكوين الركاز «خامات المعادن Mineral ores » . وتكون المواد الطيارة مع بعض المواد غير الطيارة الأخرى الثانوية ما يعادل ١ ٪ فقط من الصهير .

عند ما يبرد الصهير يبدأ في التصلد والتبلور باتحاد واحد أو أكثر من الأكاسيد القاعدية مع السيليكا الحمضية تحت ظروف مناسبة من الحرارة والضغط ليكون معادن السيليكات . ويتوقف نوع معادن السيليكات الناتجة على تركيب الصهير ، فذلك الغني أصلا بالسيليكا والألومينا والقلويات يكون معادن الفلسبارات والكوارتز والماسكوفيت ، بينما تنتج المعادن الحديدومغنيسية مثل الأوليفين، البيروكسينات ، الأمفيبولات والبايوتيت من صهير غني أصلاً في السيليكا وأكاسيد الماغنسيوم والحديد والكالسيوم، أما الصهير الغني بالقلويات الفقيرة في السيليكا فإنه يعطي معادن ذات نسبة عالية من القلويات تسمى المعادن الفلسبائية Felspathoids مثل نيفيلين (ص لو س أ$_{٤}$) Nepheline ، لوسيت (بو لو س$_{٢}$ أ$_{٦}$) Leucite .

تصلد الصهير

يتصلد الصهير في مراحل مختلفة كما يلي :

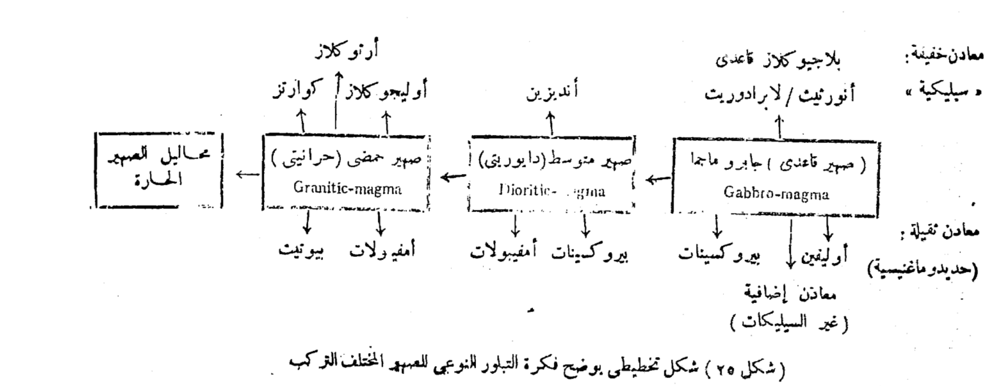
١) **مرحلة الصهير القويم** Orthomagmatic stage : وتبدأ بعملية انعزال أو تمايز Segregation لبعض الفلزات ، والأكاسيد الفلزية وبعض الكبريتيدات الفلزية الصعبة الذوبان أو الامتزاج في الصهير . وينتج عن عملية التمايز تركيز المواد ذات الأهمية الاقتصادية في رواسب معدنية تحتوي على

الفلزات مثل الذهب والبلاتين ، والأكاسيد مثل معدن ماجنيتيت ، إلمنيت (ح تى ا٣) Ilmenite ، كروميت (ح كر٢ ا٤) Chromite ، والكبريتيدات مثل معدن كالكوبايريت (نح ح كب٢) ، ومعدن بيروتيت (ح كب) Pyrrhotite . وتسمى هذه المعادن عادة بالمعادن الاضافية Accessory minerals حيث أنها تكون جزءاً صغير جداً بالنسبة لكتلة الصهير ، وتسمى المعادن السيليكاتية معادن اساسية Essential minerals لأنها تكون ما يقرب من ٩٩ ٪ من الصهير . وبانخفاض درجة حرارة الصهير تبدأ المعادن الأساسية فى التبلور حسب نظام معين :

فتتبلور أولا المعادن القاعدية ، الفقيرة فى السيليكا وذلك لأنها أقل ذوبانا من غيرها ، ثم تليها المعادن الأقل قاعدية المحتوية على نسبة كبيرة من السيليكا ثم الأكثر حمضية التى تحتوى على نسبة قليلة من العناصر القاعدية . وتعرف هذه العمليات الإنفصالية لمعادن السيليكات أثناء تصلد الصهير بالتبلور النوعى Crystallization differentiation أو التبلور التجزيئى Fractional crystallization (شكل ٢٥) فمثلا عند تصلد صهير متوسط التركيب تبدأ معادن السيليكات الحديدومغنيسية Femic — المحتوية على نسبة عالية من عناصر الماغنسيوم والحديد — فى التبلور مثل معادن مجموعة الأوليفين (سيليكات الحديد والماغنسيوم) ، تليها معادن الفلسبارات البلاجيوكلازية ، وتبدأ هذه بالمعادن الغنية بالكالسيوم «أنورثيت» وهو أكثر قاعدية من البلاجيوكلاز الصوديومى ، ثم تتدرج إلى المعادن البلاجيوكلازية الفقيرة فى الكالسيوم والغنية فى الصوديوم (ألبيت) . وقد تترسب فى نفس الوقت معادن

البيروكسينات وهى سيليكات الألومنيوم والماغنسيوم والحديد والكالسيوم مثل أنستاتيت Enstatite ومعدن أوجيت ، ثم تلى البيروكسينات فى عملية التبلور النوعى معادن الأمفيبولات وهى سيليكات الألومنيوم والكالسيوم والحديد والماغنسيوم والماء (أيدروكسيد) مثل معدن هورنبلند . ويتبع ذلك معادن الميكا مبتدئة بمعدن الميكا السوداء المحتوية على حديد وماغنسيوم مثل بايوتيت (سيليكات الألومنيوم والبوتاسيوم والحديد والماغنسيوم والماء) ثم الميكا البيضاء الخالية من الحديد والماغنسيوم مثل ماسكوفيت (سيليكات الألومنيوم والبوتاسيوم والماء) . وفى ذلك الوقت الذى تنفذ فيه كمية العناصر القاعدية (الماغنسيوم والحديد والكالسيوم) من الصهير تبدأ المعادن الأقل قاعدية ، الخالية من هذه العناصر والمحتوية على القلويات (الصوديوم والبوتاسيوم) ، فى التبلور ، فتبدأ بالبلاجيوكلاز الصوديومى مثل أوليجوكلاز وألبيت (سيليكات الالومنيوم والصوديوم) ثم معادن الفلسبارت البوتاسية مثل معدن أرتوكلاز وميكروكلين (سيليكات ألومنيوم وبوتاسيوم) .

ويصبح الصهير بعد ذلك خاليا من كل أكاسيد العناصر القاعدية فتزداد درجة الحموضة نسبيا بازدياد السيليكا ويبدأ معدن الكوارتز فى التبلور . وبانتهاء مرحلة الصهير القويم — التى يتم فيها تمايز بعض الفلزات وأكاسيدها وكبريتيداتها ، ثم إنفصال بقية المواد غير الطيارة بالتبلور النوعى — يصبح الصهير المتبقى غنيا فى المكونات الطيارة ، والمواد الصاهرة Fluxes . وتتكون المواد المتخلفة عن المرحلة الأولى من جزئين : جزء سائل أقل لزوجة عن المرحلة السابقة ويعرف بالمرحلة البيجماتيتية Pegmatetic stage ، أما الجزء الآخر فيشمل الغازات والأبخرة والمواد الطيارة ويكون المرحلة الغازية Pneumatolytic stage .



(شكل ٢٥) شكل تخطيطى يوضح فكرة التبلور النوعى للصهير المختلف التركيب

٢) المرحلة البيجماتيتية : يتكون الصهير فى هذه المرحلة من الجزء السائل الذى يزداد فيه تركيز بعض العناصر الاضافية (غير الأساسية بالنسبة للصهير كله) التى تشترك فى تكوين بعض المعادن القيمة . ويؤدى اغتناء هذا الجزء السائل بالمواد الصاهرة إلى نمو بلورات المعادن فى هذه المرحلة إلى أحجام كبيرة تسمح باستغلالها . وتسمح درجة سيولة الصهير فى هذه المرحلة بحرية التحرك لمكوناته ، إذ غالبا ما يغزو السائل البيجماتيتى الفراغات والشقوق ويتسرب بين مستويات الكسور إلى الصخور المحيطة به ـ وقد يتسرب إلى مسافات بعيدة ـ حيث تقل درجة حرارته وتبدأ مكوناته فى التبلور ببطء ، فتنمو بذلك بلورات ذات حجم كبير لمعادن ذات قيمة اقتصادية مثل الفلسبار والكوارتز والميكا ومعادن الزينة مثل العوباز (الزمرد) والاباتيت والتورمالين.

٣) المرحلة الغازية : وهى مرحلة الغازات المتبقية بعد المرحلتين السابقتين من تصلد الصهير ، وتتكون من غازات وأبخرة حارة نشطة ومواد طيارة قوية التفاعل . وتتسرب هذه الغازات باحثة عن منفذ لها بين الشقوق والفواصل والفوالق والكسور والمسام فى صخور المكان Country rocks اى المحيطة بالصهير ، حيث تتعرض للبرودة ، وتتفاعل مع بعضها وكذلك مع الصخور المحيطة بها ، أو قد تتفاعل مع المعادن التى قد سبق تكونها من تصلد الصهير فى مرحلتيه السابقتين ، فتتكون معادن أخرى مميزة لهذه المرحلة مثل :

أ ـ معادن كاسيتريت (ق ا$_2$) ، ولفراميت (تنجستات الحديدوز (ج ، م) تن ا$_4$ Wolframite . يتفاعل الفلور (أحد المكونات الطيارة للصهير) مع القصدير مكونا فلوريد القصدير (ق فل$_4$) وهذه مادة طيارة سهلة التسرب والهروب من الصهير ، ثم تتفاعل مع الماء فى درجة حرارة منخفضة وينتج

عن هذه التفاعل أكسيد القصدير (معدن الكاسيتريت) وحامض فلوروودريك (يد فل) الذى يتفاعل بدوره مع الصخور الجيرية المجاورة ليكون فلوريد الكالسيوم وهو معدن فلوريت ، ولهذا غالبا مايوجد معدن الكاسيتريت مصحوبا بمعدن الفلوريت أومجاورا له .

ب ـ معادن التيتانيوم : يتفاعل غاز الكلورمع التيتانيوم الذى قديتواجد فى الصهير فينتج كلوريد التيتانيوم (تى كل٤) الطيار الذى يتفاعل مع الماء وينتج عنه حامض كلورودريك وأكسيد التيتانيوم (تى أ٢) مثل معادن الروتيل ، أناتاز ، بروكيت .

حـ ـ معادن الفوسفور : مثل أباتيت (فوسفات وكلوريد أو فلوريد الكالسيوم) ، والمعادن الحاوية للبورون مثل معدن تورمالين(بوروسيليكات الألومنيوم والحديد والماغنسيوم والكالسيوم)، والمعادن الحاوية للفلور مثل توباز (فلوروسيليكات الألومنيوم) . ومن الجدير بالذكر أن بعض الغازات الطيارة قد تتصاعد من فوهات البراكين الثائرة وقت انفجارها فلا تلبث أن تبرد وتتجمد بسرعة نتيجة الإنخفاض المفاجىء فى درجة الحرارة والضغط الواقع عليها فتترسب مباشرة حول فوهات البراكين حيث توجد معادن الكبريت وأحيانا هاليت وملح الأمونيا (ن يد٤ كل) Sal-ammoniac ، وحامض البوريك .

٤) مرحلة المحاليل المائيه الحارة Hydrothermal stage : وهذه آخر مرحلة فى تصلد الصهير حيث يصبح الجزء المتبقى منه محلولا مائيا حارا جدا ذا نشاط كيميائى كبير ، ولذلك فهو قادر على إذابة وحمل معظم المركبات الفلزية ذات القيمة الاقتصادية . وتتسرب هذه المحاليل الحارة بما تحملها عبر

الشقوق والفواصل والفجوات وقد تصل إلى مسافات بعيدة عن مصدرها ، وهناك تبدأ فى تفريغ شحنتها بترسيب ما تحمله من محاليل معدنية مختلفة نتيجة للبرودة وانخفاض الضغط الواقع عليها . وتترسب أولا المعادن القليلة الذوبان فى هذه المحاليل الحارة ثم تليها المعادن الأكثر قابلية للذوبان ، ويتوقف ذلك إلى حد كبير على درجة حرارة المحلول والضغط الواقع عليه أثناء الترسيب . وعلى هذا الأساس يمكن تقسيم الرواسب المعدنية من المحاليل الحارة إلى ثلاثة أنواع معاينة :

ا — رواسب عالية الحرارة Hydrothermal deposits : تترسب من محاليل ذات درجة حرارة عالية تتراوح بين ٥٠٠ — ٣٠٠°م وتحت ضغط كبير ، بمعنى أنها تترسب على أعماق بعيدة من سطح الأرض . ومن أمثلة المعادن التى تتكون تحت هذه الظروف : ولفراميت ، موليبدينيت (مو كب$_2$) Molybdenite ، كاسيتريت ، جارنت ، توباز ومعدن أباتيت .

ب — رواسب متوسطة الحرارة Mesothermal deposits : وتنتج من محاليل متوسطة الحرارة ، تتراوح بين ٣٠٠ — ٢٠٠°م وتوجد على عمق متوسط من سطح الأرض حيث الضغط المتوسط . وأهم المعادن التى تتكون من المحاليل المتوسطة الحرارة هى : كبريتيدات الفلزات مثل كالكوبايريت (نح ح كب$_2$) ، وسفاليريت (خ كب) ، جالينا (ر كب) ، أرسينوبايريت (ح ز كب) كبريتيد الحديد والزرنيخ Arsenopyrite ، تتراهيدريت (نح ، ح ، خ ، فـ)$_{12}$ نـ$_4$ كب$_{13}$ كبريتيد الأنتيمون والنحاس والحديد والزنك والفضة Tetrahedrite . ومن الكبريتات معدن باريت (با كب أ$_4$) ومن الكربونات معدن الكالسيت .

حـ- رواسب منخفضة الحرارة Epithermal deposits : تترسب من محاليل ذات درجة حرارة منخفضة ٢٠٠ - ٥٠م وتحت ضغط أقل من المتوسط بمعنى أنها تترسب قريبا نسبيا من سطح الأرض . ومن أمثلة المعادن التى تكون الرواسب المنخفضة الحرارة السنابار (كبريتيد الزئبق) Cinnabar ، ستيبنيت (نت٢ كب٣) ، ماركازيت (ح كب٢) . ومن الكربونات معدن كالسيت ومن الهالوجينات معدن فلوريت ومن السيليكا معدن كوارتز وأوبال .

ولا يقف نشاط محاليل الصهير الحارة على مجرد حمل وترسيب المعادن فحسب، بل قد تتفاعل مع صخور المكان التى تمر بها أو تحيط بها . فبينما تذوب بعض هذه الصخور فى المحاليل الحارة فتزودها ببعض العناصر الأخرى ، قد يتم هناك إستبدال أو إحلال جزئى أو كلى لبعض عناصر المحاليل الحارة محل عناصر أخرى مشابهة لها أو متقاربة منها موجودة فى صخور المكان فتنتج بذلك معادن أخرى جديدة . ويعرف هذا التغير فى التركيب المعدنى الناتج من إحلال بعض مكونات المحاليل الحارة محل بعض مكونات صخور المكان التى تمر بها أو تتواجد معها باسم (التحول السائلى) أو (التغير الاستبدالى) Metasomatism .

ويعزى التحول السائلى إلى أن بعض الصخور تؤثر إختيار الغاز القاعدى الذائب فى المحاليل الجارية إذا كانت قابليته كبيرة للشق الحمضى الموجود فى هذه الصخور ، أو العكس بأن تكون قابلية الشق الحمضى الموجود فى المحاليل تتوافق مع الشق القاعدى فى الصخور التى تمر بها . ومن أمثلة التحول السائلى تكوين رواسب الحديد فى كليفلاند بأمريكا ، حيث حلت كربونات الحديد (ح ك أ٣) محل كربونات الكالسيوم (كا ك أ٣) نتيجة إحلال عنصر الحديد

من المحاليل الجارية محل عنصر الكالسيوم فى الصخور الجيرية مما أدى إلى تكوين معدن سيدريت ، محتفظا بجزء كبير من المظاهر الخارجية للصخور الجيرية الأصلية وكذلك أشكال بعض الحفريات التى كانت موجودة بها ، أى أن معدن السيدريت يظهر فى هذه الحالة فى شكل كاذب Pseudomorph لكربونات الكالسيوم . وكذلك يبدو الخشب السيليسى Silicified wood (بالغابة المتحجرة بالقرب من القاهرة) نتيجة إحلال السيليكا محل المواد السيليلوزية المكونة للخشب ، وذلك بواسطة محاليل الصهير الحارة المحملة بثانى أكسيد السيليكون ، مع إحتفاظ الخشب بشكله ومظهره الخارجى .(ظاهرة الخداع الشكلى) . وبنفس الطريقة تتكون بعض الرواسب الغنية بمعدن ماجنزيت .

تكون المعادن من المحاليل السطحية

تشمل المحاليل السطحية المحتويات الذائبة فى ميـــاه البحار والبحيرات والمحيطات والأنهار ، وفى المياه الأرضية Ground water الناتجة من الأمطار التى قد تتسرب خلال الشقوق والفواصل والمسام فى الصخور المختلفة وتحمل معها قدر ما تستطيع من المواد التى قد تذيبها أثناء تسربها . وتترسب المعادن من هذه المحاليل السطحية نتيجة تغير الظروف الطبيعية ، وتسمى تجمعاتها خامات المعادن الرسوبية Sedimentary ore-minerals ، وتتكون بإحدى الطرق الآتية :

١) بخر السائل المذيب : تتركز الأملاح الذائبة فى مياه البحيرات نتيجة تبخر الماء لدرجة تسمح بتبلور بعض المعادن فى ترتيب معين ، وتقف على درجة

ذوبان العناصر المكونة لهذه المحاليل ، فغالبا ما تترسب أملاح الكربونات أولا مثل كربونات الكالسيوم (كالسيت) ثم كربونات الماغنسيوم (ماجنيزيت) ثم تلى الكربونات أملاح الكبريتات مثل كبريتات الكالسيوم المائية (جبس)، ثم أملاح الكلوريد مثل كلوريد الصوديوم (هاليت) .

٢) تجر الغاز المساعد على الإذابة : قد يذوب غـــاز ثانى أكسيد الكربون فى مياه الأمطار ويكسبها خاصية الحامض الضعيف (حامض الكربونيك) فتذيب بعض الصخور الجيرية التى تتسرب خلالها وتنتج بيكربونات الكالسيوم كا يد٢ (ك أ٣)٢ ، وهـذا المركب قابل للذوبان فى الماء إلا أنه غير مستقر ، فبمجرد تعرضه لفقدان غاز ثانى أكسيد الكربون فإنه يتحول إلى كربونات الكالسيوم غير قابلة للذوبان فى الماء ، فتترسب هذه مكونة معادن الكالسيت والأرجوانيت . وكثيرا ما يحدث ذلك فى الكهوف والمغارات التى توجد فى المناطق ذات الصخور الجيرية والتى تغزر فيها الأمطار حيث تترسب كربونات الكالسيوم على هيئة أعمدة مخروطية الشكل تتدلى من سقف هذه الكهوف وتكون ما يسمى ستلاكتيت Stalactite (شكل ٤٣)، وتتساقط نقط المحاليل الجيرية كذلك على أرضية الكهوف فتتعرض لفقدان غاز ثانى أكسيد الكربون وتترسب كربونات الكالسيوم فى أعمدة مخروطية ترتفع على قاع الكهوف وقـــد تتشكل بأشكال طبيعية جميلة وتسمى ستلاجميت Stalagmite .

وقد تتسرب هذه المحاليل إلى أعماق بعيدة عن سطح الأرض فتكتسب حرارة عالية نسبياً تساعد على فاعلية حامض الكربونيك فى الإذابة . ثم لا تلبث

أن تجد مخرجاً لها على هيئة ينابيع ، فيتطاير منها ثانى أكسيد الكربون بتعرضها للجو والبرودة فتترسب كربونات الكالسيوم مباشرة حول الينبوع فى كتل مختلفة الأشكال تسمى ترافيرتين Travertine أو السنترالجيرى Calc-sinter . وأحياناً أخرى تتسرب محاليل المياه السطحية إلى أغوار بعيدة فترتفع حرارتها وكذلك الضغط الواقع عليها لدرجة تمكنها من إذابة كل ما يصادفها حتى السيليكا ، فإذا ما وجدت مثل هذه المحاليل المنفذ المواتى لها فإنها تتصاعد إلى سطح الأرض على هيئة ينابيع حارة متفجرة تسمى جيزر Geyser ، وبمجرد تعرضها للجو — حيث الانخفاض الفجائى فى درجة الحرارة والضغط — فإن المحاليل ترسب ما بها من أملاح ذائبة بالقرب من الينابيع الحارة المتفجرة على هيئة رواسب سيليسية دقيقة الحبيبات تسمى جيزريت Geyserite أو سنترسيليسى Siliceous-sinter .

تكون المعادن من مواد صلبة (التحول)

قد تنشأ بعض المعادن من مواد صخرية صلبة تحت تأثير الحرارة الشديدة أو الحرارة المصحوبة بضغط مرتفع ، فتتغير المعادن الأصلية المكونة لهذه الصخور تغيرا قد يكون جزئيا أو كاملا فى بنائها وتركيبها وخواصها . وقد تنتج الحرارة من تداخل مواد الصهير أو محاليل مرتفعة الحرارة فى صخور المكان ، ويحدث أن تنصهر صخور المكان فى منطقة التماس Contact أو التلامس بينها وبين مواد الصهير، ثم تستعيد المركبات الأصلية المكونة لهذه الصخور بناءها من جديد بحيث يتناسب هذا البناء مع الظروف المستجدة ، أى تتحول المعادن الأصلية إلى معادن أخرى ، فمثلا تتحول رواسب معادن

الحديد المائية بفعل الحرارة الناتجة عن تداخل مواد الصهير إلى رواسب غنية بمعادن الهماتيت والماجنيتيت فى منطقة التماس بين الصخور الأصلية ومواد الصهير المتداخلة . وتعرف مثل هذه التكاوين رواسب الخامات التماسية Contact ore deposits . فاذا ما كانت الحرارة ناشئة من تداخل محاليل حارة فى صخور المكان فقد تنشأ بينها عمليات إحلال أو إستبدال لبعض العناصر المكونة لكل منها وينتج عن هذا الإحلال المتبادل معادن جديدة تلائم الظروف الطبيعية الجديدة ، ويعرف هذا بالتحول التماثلى الحرارى Pyrometasomatism . وأهم الرواسب المعدنية التى تتكون بطريقة التحول الحرارى Thermal metamorphism رواسب الكبريتيدات مثل البيريت ، كالكوبالتيت ، زنكبلند (سفاليريت) ، ومن الأكاسيد الهماتيت والماجنيتيت.

وغالباً ما يصحب هذه الرواسب تكوين بعض المعادن المميزة التى تسمى « سكارن » Scarn-minerals مثل ولاستونيت (كا س $أ_٣$) Wallastonite وينتج من إتحاد الكوارتز (السيليكا) مع الكالسيت (الكربونات) ، والجارنت الحديدى (جروسيولار Grossular) ، وبيروكسينات حديدية ، ومعدن أبيدوت (سيليكات كا ، لو ، ح) ، ومعدن أيدوكراز (سيليكات كا ، لو ، ح ، ما) .

ظهور الرواسب المعدنية فى الطبيعة

يمكن تمييز الرواسب المعدنية على أساس تكوينها وظهورها Occurrence إلى نوعين :

١) رواسب معدنية « معاصرة » Syngenetic mineral deposits : تتكون

معادن هـذه الرواسب فى نفس الوقت التى تتكون فيه الصخور الحاوية لها أو المحيطة بهـا وتظهر منتشرة مبعثرة فيها . ومن أمثلة هـذه الرواسب المعدنية المعاصرة تلك المعادن النافعة الـتى تظهر أثناء عملية تمايز الفلزات وأكاسيدها وبعض كبريتيداتها فى أولى مراحـل تصلد الصهير - مرحلة الصهير القويم - فى نفس الوقت التى تتبلور فيه معادن السيليكات فوق القاعدية (الغنية جداً بالعناصر القاعدية) ، مثل ظهور معدن الكروميت (ح كر$_2$ أ$_4$) فى الصخور فوق القاعدية Ultrabasic rocks ، وكذلك بعض الرواسب المعدنية الطبقية Bedded mineral deposits التى تتكون فى وقت معاصر لتكوين طبقات الصخور الرسوبية الحاوية لها .

٢) رواسب معدنية لاحقه « غير معاصرة » Epigenetic mineral deposits

تتكون معادن هذه الرواسب بعد ظهور الصخور الحاوية لها أو المحيطة بهـا . وغالباً ما توجد فى الشقوق والشروخ والفواصل فى الصخور ولذلك فإنها تتشكل بشكل هـذه الفراغات ، وعادة ما تظهر على هيئة عروق Veins or lodes . وقـد تمتد العروق فى معظم الأحيان إلى مسافات طويلة وأعماق بعيدة ولكنها قليلة السمك ، ويختلف سمكها من مكان لآخر . وتترسب المعادن فى أحيان كثيرة فى المسافات البينية Interstices الصخور وتعرف مثل هـذه التجمعات بالرواسب المتشربة Impregnations ، وأحيانا أخرى تحل الرواسب المعدنية محـل صخور المكان التى تتداخل فيها فتتخذ بذلك أشكالا غير منتظمة .

تعرف الرواسب المعدنية التي تظهر في نفس المكان أو الموضع الذى نشأت فيه بأنها رواسب أولية أو موضعية Primary or in situ .أما المعادن التي تنقلها الرياح أو تجرفها المياه من المكان الأصلى لنشأتها ثم ترسبها في مكان آخر فتسمى رواسب ثانوية أو منقولة Secondary or placer deposits .

وتوجد مثل هذه الرواسب المنقولة مختلطة بالحصى والرمال عند مصاب الأنهار وكذلك على جوانبها وفى مجارى السيول . وغالباً ما تتركز المعادن في الرواسب المنقولة بعملية تصنيف أو فرز طبيعى تتوقف على الوزن النوعى لها ، فتتواجد المعادن ذات الوزن النوعى الوحد أو المتشابهة فى مجموعات يسهل فصلها عن بعضها . وأهم أنواع الرواسب المنقولة هى رواسب الذهب التى قد يتواجد معها رواسب الماجنيتيت والكروميت والزيركون . وكذلك رواسب الرمال السوداء المنقولة التى تحتوى أحياناً على بعض المعادن النادرة المشعة ذات القيمة الإقتصادية مثل رواسب الرمال السوداء عند ملتقى النيل بالبحر الأبيض المتوسط عند رشيد .

تبدل المعادن Alteration of minerals : تتعرض الرواسب المعدنية للتأثيرات الجوية ، وينتج عن ذلك تغير المعادن المكونة لها تغيراً قد يكون طبيعياً أو كيميائيا بسبب التجوية Weathering . ويؤدى التغير الطبيعى إلى تكسير المعادن وتفككها Disintegration بسبب التغير المستمر فى درجة الحرارة أو نتيجة لفعل الرياح أو الأمطار . وينتج عن التغير الكيميائى تحلل المعادن Decomposition وتغير تركيبها الكيميائى تغيراً سطحيا أو جزئياً ، فتؤدى عملية الأكسدة إلى تغير مظهر سطح المعدن المعرض للجو ،

وينتج عن وجود ثانى أكسيد الكربون عملية تكربن لسطح المعدن فيغطى بطبقة رقيقة من كربونات العناصر المكونة له . وقد تذوب المعادن جزئيا نتيجة للتفاعلات الكيميائية البطيئة ثم تنقل بواسطه المياه أو الرياح إلى حيث تترسب من جديد فى مكان آخر تاركة خلفها المكونات غير القابلة للذوبان فى مكانها الأصلى والتى تعرف حينئذ بالرواسب المتبقية Residual deposits مثل رواسب البوكسيت (أكسيد ألومنيوم مائى) Bauxite ، ورواسب الكاولينيت (سيليكات ألومنيوم مائية) Kaolinite .

الباب الثالث

الصخــــور

(بقلم الشناوى)

يتكون الجزء اليابس من الأرض من أنواع مختلفة من الصخور . ويمكن تعريف الصخر بصفة عامة بأنه كل مادة صلبة تتكون أساساً إما من معدن واحد أو من خليط معادن عديدة ، وتشترك فى بناء جزء أساسى من القشرة الأرضية . وتوجد أيضاً بعض الصخور التى تتكون من أصـل عضوى (ليس معدنى) مثل صخور الفحم أو الصخور العضوية المتكونة من تكدس بقايا الهياكل العظمية للكائنات الحية .

تختلف الصخور إختلافا بيناً يتوقف على نوع المعادن المكونة لها ، بل وعلى النسبة بين المعادن المشتركة فى تكوينها أى التركيب المعدنى لهـا ، وكذلك على كيفية نشأتها Mode of origin وطريقة تكوينها وتواجدها Mode of occurrence . ويمكن تصنيف الصخور حسب كيفية نشأتها إلى ثلاثة أقسام رئيسية .

أولاـ الصخور النارية Igneous rocks : وتشمل الصخـور المتبلورة بصفة عامة والتى تكونت من تصلد الصهير (ماجما) Magma فى باطن الأرض أو تصلد الحمم (لافا) Lava على سطح الأرض .

ثانيا ـ الصخور الرسوبية Sedimentary rocks : نشأ هذه الصخور نتيجة

تكسير وتفتت صخور سابقة التكوين ثم ترسيبها من جديد تحت تأثير النشاط الآلى أو الكيميائى لعوامل التعرية أو النشاط العضوى للكائنات الحية .

ثالثاً - الصخور المتحولة Metamorphic rocks : وتشمل كل الصخور التى تتكون نتيجة تغير أو تحول أساسى فى مادة صخور نارية أو رسوبية سابقة التكوين تحت تأثير تعرضها لظروف طارئة من الحرارة أو الضغط أو كليهما معاً ، بما يؤدى إلى تغير معالم الصخر الأساسى تغيراً جزئياً أو كلياً وإكتسابه معالم جديدة تلائم الظروف الجديدة .

ويمكن التميز بين هذه الأنواع الرئيسية الثلاثة بصفة مبدئية . فالصخور الرسوبية غالباً ما تتكون فى هيئة طبقات متباينة ، قد تحتوى كل منها على بقايا حيوانية أو نباتية قديمة (تسمى الحفريات) ، وتنعدم هذه الميزة تماماً فى الصخور النارية ، وتوجد أحياناً فى الصخور المتحولة عن أصل رسوبى حيث تتشوه الحفريات أو تتحول تماماً تاركة خلفها آثاراً تدل على سابق وجودها . وتتميز الصخور النارية بهيئتها الكتلية اللاطبقية Non-stratified ولكنها غالباً ما تكون في حالة متبلورة ، فى حين يندر وضوح مثل هذه المكونات المتبلورة فى الصخور الرسوبية وتظهر فى كثير من الصخور المتحولة حيث تتبلور مكوناتها من جديد وترتب نفسها فى نظام صفائحى يناسب ويلائم الإحتفاظ بكيانها تحت تأثير الضغط المرتفع الذى تعرضت له .

أولاً — الصخور النارية

تتكون هذه الصخور من تصلد وتبلور مادة الصهير التى تتواجد على أعماق بعيدة غير معروفة من سطح الأرض . وقد تضطر هذه المواد المنصهرة

تحت تأثير ظروف معينة إلى الصعود فى القشرة الأرضية حيث تغزوها وتتداخل بين صخورها ، وأحيانا قد يصل الصهير إلى سطح الأرض ، وفى كلتا الحالتين يتعرض لفقدان حرارته فيتجمد متبلورا فى مكان ما ، أما فى باطن الأرض أو على سطحها (شكل ٢٦) . وبذلك يمكن تصنيف الصخور النارية حسب بيئة تكوينها وتواجدها إلى :

١) صخور باطنية Intrusive rocks وتشمل :

ا - صخور جوفية Plutonic rocks .

ب - صخور تحت سطحية Hypabyssal rocks

٢) صخور سطحية Extrusive rocks أى صخور بركانية Volcanic rocks .

الصخور الجوفية

تتكون الصخور الجوفية على أعماق بعيدة فى جوف الأرض حيث تسمح عوامل الحرارة والضغط بعملية تبلور تام لمكونات الصهير ، نتيجة التبريد البطىء والضغط المستقر نسبياً ، ولذلك نوجد المكونات المعدنية للصخور الجوفية فى هيئة بلورات كبيرة الحجم ومتساوية فيما بينها فى النمو وفى ترتيب أفرادها ، وتوصف المعادن فى هذه الحالة بأنها كاملة التبلور Holocrystalline . وتعرف الهيئة الناتجة عن الحجم النسبى وشكل وطريقة ترتيب بلورات المعادن المكونة لصخر ما بالنسيج Texture . وتتميز الصخور الجوفية بنسيج كامل التبلور أى ذات بلورات واضحة المعالم « نموذجية الشكل » Idiomorphic (شكل ٣٢) . ويوصف النسيج فى هذه الحالة بأنه كبير

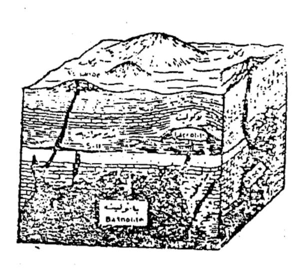
الحبيبات Coarse grained texture أوجرانيتى Granitoid (شكل ٢٧، ٢٨).
وتتواجد الصخور الجوفية فى هيئة كتل ذات حجم ضخم ، تغطى مساحات شاسعة تبلغ مئات الكيلومترات على أعماق كبيرة جداً تحت سلاسل الجبال ، وتتزايد مساحتها تدريجيا فى إتجاه قاعدتها ، وعادة ما تكون أسقفها مخروطية الشكل وجدرانها شديدة الإنحدار وغير متوافقة (متباينة ـ شكل ٥٧) مع صخور مكانها وتعرف مثل هـذه الكتل الضخمة من الصخور النارية « باثوليث » Batholith (شكل ٢٦) . وتسمى الأحجام الصغيرة منها « بوس » Boss أو « ستوك » Stock ...

الصخور تحت السطحية (المتداخلة)

يصعد الصهير أحيانا ـ تحت ظروف إضطرارية ـ داخل القشرة الأرضية ويتسرب إلى مناطق الضعف في صخور المكان وخاصة الرسوبية منها وينتج عن ذلك تقوس الطبقات الموجودة فوق الصهير المتداخل فتتخذ هيئة قبو ذو قاعدة مستوية إلى حد ما ، وبذلك يوجد عدم توافق متباين (شكل ٥٧) ، بين السطح العلوى لهـذه الكتلة المتداخلة وطبقات الصخور الرسوبية المحيطة بها . وتسمى مثل هذه الكتل النارية المتداخلة ، التى قد تصل مساحتها عدة كيلومترات ، باسم لاكوليث Laccolith أو كتل جرسية .

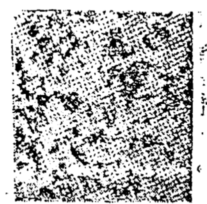
وأحياناً يتداخل الصهير بين سطوح الطبقات الرسوبية الضعيفة حيث يتجمد فى هيئة جدد موازيه Sills (شكل ٢٦) ، وأحياناً أخرى يغزو الصهير الشقوق والفواصل أو الكسور التى غالبا ما تكون رأسية أو مائلة فى صخور المكان ويتجمد مكونا كتلا نارية تعرف بالجدد القاطعة أو الرأسية Dikes .

وتتميز الصخور تحت السطحية بنسيج بورفيرى Porphyritic texture (شكل ٢٩ ، ٣٠) ويتكون من بلورات كبيرة الحجم تسمى فينوكريست Phenocrysts (شكل ٣١ ، ٣٢) منتشرة فى وسط من البلورات الدقيقة أو المجهرية Microcrysts أو



(شكل ٢٦) يبين كيفية تواجد الصخور النارية

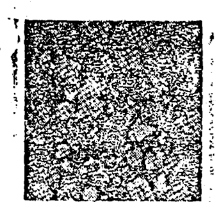
أو فى وسط زجاجى Glasssy groundmass ينعدم فيه التبلور نهائيا . وينشأ النسيج البلورى البورفيرى نتيجة تغير الظروف المحيطة بالصهير المتداخل أثناء تصلده : فتتكون البلورات الكبيرة الحجم النموذجية الشكل أثناء وجود الصهير فى أعماق بعيدة نسبياً من سطح الارض نتيجة التبريد البطىء ، فاذا ما تداخل الصهير بعد ذلك فى الطبقات القريبة من سطح الأرض حيث التبريد المفاجىء فانه يتصلد حينئذ فى بلورات دقيقة الحجم أو مجهرية تملأ وتتشكل بشكل للفراغات الموجودة بين البلورات النموذجية الشكل السابق تكوينها ، ولذلك فغالباً ما تكون هذه الحبيبات المتبلورة غير كاملة الهيئة ، غريبة الشكل ، Xenomorphic أو . تحت نموذجية الشكل ، Hypidiomorphic . وأحياناً أخرى يتعرض الصهير المتداخل إلى إنخفاض شديد مفاجىء فى درجة الحرارة والضغط فيتصلد فى هيئة مادة خفية التبلور Cryptocystalline (لا يمكن تمييزها بعدسة مكبرة أو بمجهر عادى) أو يتجمد فى هيئة مادة زجاجية عديمة التبلور ، لتكون الوسط الذى يحيط بالبلورات الكبيرة الحجم .



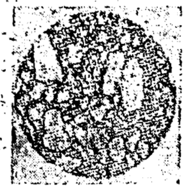
(شكل ٢٧) يبين النسيج الجرانيتى
فى صخر جرانوديايوريت ـ حجم طبيعى



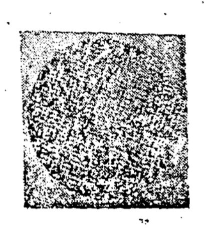
(شكل ٢٨) شريحة ميكروسكوبية تبين
النسيج الجرانيتى فى صخر سيانيت
(قوة التكبير × ١٠)



(شكل ٢٩) يبين النسيج البورفيرى
فى صخر كوارتز بورفيرى ـ حجم طبيعى



(شكل ٣٠) يبين بلورات واضحة
« فينوكريست » لمعدن الفلسبارات فى
وسط زجاجى مجمد فى صخر أبسيديان
(تكبير × ١٠)



(شكل ٣١) شريحة ميكروسكوبية
تبين بلورة واضحة « فينوكريست » فى
وسط دقيق التبلور فى صخر راكيت
(تكبير × ١٠)

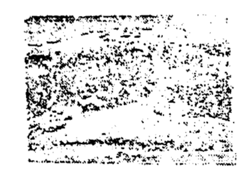


(شكل ٣٢) شريحة ميكروسكوبية
تبين قطاعا طوليا فى بلورة كاملة الهيئة
« نموذجية الشكل » لمعدن أوليفين فى
صخر بازلت ـ (تكبير × ٢٥)

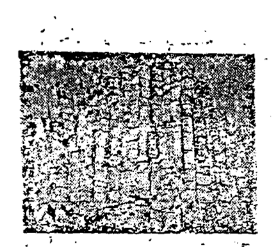
الصخور السطحية أو البركانية

تتكون هذه الصخور نتيجة تدفق الحمم أو اللافا Lava من أفـــواه البراكين الثائرة ، أو من الشقوق والفواصل التى قد تصادف الصهير المتصاعد فى صخور المكان إلى سطح الأرض. وتتصعد الحمم حينئذ بسرعة بالغة لا تسمح لمكوناتها بأن تتخذ الأشكال البلورية الخاصة بها فتتكون مادة زجاجية عديمة التبلور وأحيانا تتجمد الحمم فى كتل سميكة ، فتتكون الطبقة الخارجية منها فى نسيج زجاجى نتيجة تعرضها المباشر للجو حيث تفقد حرارتهـا بسرعة هائلة ، بينما تتمتع الأجزاء الداخلية منها بتبريد بطىء نسبيا فتتجمد فى نسيج دقيق أو خفى التبلور. وغالباً ما تحتوى الحمم على غازات وأبخرة متمددة على هيئة فقاقيــع كبيرة ، سرعان ما تتطاير بمجرد تعرضها للجو تاركة خلفها فراغات فقاعية فى الصخور النارية السطحية فتكون نسيجا فقاعيا Vesicular texture (شكل ٣٧ — ٣٩) . وقد تمتلىء هـذه الفراغات الفقاعية فيما بعد بمعادن ثانوية لاحقة مختلفة الأصل وتظهر فى شكل لوزى، ويوصف النسيج الناتـج بأنه لوزى أو أميجدالى Amygdaloidal texture . وأحيانا تتجمع الغازات البركانية فى الحمم على هيئة فقاقيع صغيرة جـدا كثيرة الإنتشار ، وبمجرد تطايرها تـــترك الصخر البركانى على هيئـة نسيـج أسفنجى Spongy texture كما هو الحال فى الحجر الخفاف .

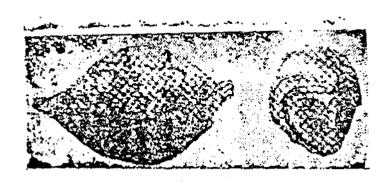
وتظهر الصخور البركانية فى الطبيعة فى أشكال مختلفة تتوقف على التركيب الكيميائى للحمم ودرجة حرارتها ودرجة لزوجتها Viscosity : فالحمم الحامضية التركيب تظل لزجة لوقت طويل وخاصة فى درجات الحرارة العالية فتسيل إلى مسافات قصيرة غير بعيدة عن مصدرها ، فى حين أن الحمم القاعدية التركيب



(شكل ٣٣) يبين التركيب الحبلي والوسادي للحمم البركانية



(شكل ٣٤) يبين التركيب العمدانى فى صخر البازلت



(شكل ٣٥) القنابل البركانية

قليلة اللزوجة أو مائعة Mobile وتتحرك بسهولة فتصل إلى مسافات بعيدة نسبيا عن مصدرها . وتقذف البراكين قطع الحمم إلى إرتفاعات مختلفة فى هيئة كتل بركانية Volcanic blocks ، أو هيئة بيضاوية تعرف بالقنابل البركانية Volcanic bombs ، (شكل ٣٥) ، أو قطع صغيرة الحجم تسمى « لا بيلاى » Lapilli ، أو تتطاير فى هيئة فتات أو حبيبات صغيرة تعرف بالغبار البركانى Volcanic dust ثم تتساقط هذه القذائف البركانية وتكون الرواسب الفتاتية البركانية Pyroclastic debris (شكل ٣٩) ، ومنها :

ا ـ الاجلومرات Volcanic agglomerate : ويتكون من قطع بركانية صغيرة مستديرة الشكل .

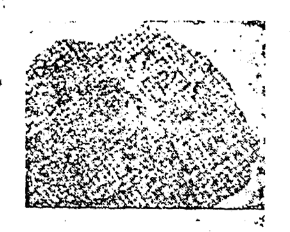
ب ـ البريشيا البركانية Volcanic breccia : وتتكون من قطع صخرية بركانية حادة الحواف .

حـ ـ التوفا البركانية Volcanic tuff : وهى الرواسب البركانية الدقيقة التى تتكون من الغبار البركانى .

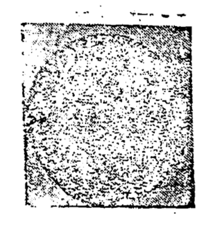
أما اللافا فإنها تسيل على جوانب البراكين الثائرة ، وعند ما تبرد هذه الحمم المتدفقة فإنها تتخذ أشكالا حبلية Ropy appearance (شكل ٣٣) ، عادة ما توازى السطح الذى تسيل عليه ، وغالبا ما تتبلور مكونات الجزء الداخلى لهذه الحمم المتحركة وتترتب متوازية لبعضها فى إتجاه التحرك فينتج ما يسمى بنية الإنسياب Flow structure (شكل ٣٦) . وقد تبرد اللافا متجمدة على هيئة وسائد متجمعة فوق بعضها فى بنية وسادية Pillow structure (شكل ٣٣) ، وأحيانا تتجمد الحمم فى شكل أعمدة رأسية متلاصقة ذات



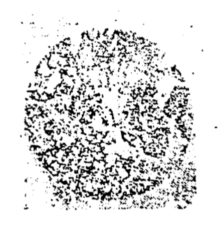
(شكل ٣٦) يبين التركيب الانسيابى فى صخر رايوليت



(شكل ٣٧) يبين النسيج الفقاعى الإسطحى فى صخر بيوميس



(شكل ٣٨) شريحة ميكروسكوبية تبين النسيج الفقاعى « البرليتى » فى صخر بتشستون (تكبير × ١٠)



(شكل ٣٩) شريحة ميكروسكوبية تبين النسيج الفقاعى والمواد الملتئة فى صخر التوفا البركانية (تكبير × ١٠)

مقطع سداسى منتظم يشبه خلايا النحل يعرف بالبنية العمدانية Columnar structure (شكل ٣٤) . وتنشأ هذه البنية عن الإنكماش المنتظم لسطح الحمم نتيجة التبريد فتنفصل في أشكال منتظمة سداسية المقطع ، وتمتد الفواصل متعمقة إلى أسفل بازدياد التبريد والإنكماش فتتكون أعمدة طويلة متوازية متجاورة منفصلة عن بعضها .

التركيب المعدنى للصخور النارية

تتكون الصخور النارية من تصلد مادة الصهير أو الحمم . ويؤدى تجمد الصهير إلى تكون معادن السيليكات بالتبلور في نظام وتتابع معين هو التبلور النوعي أو التبلور التجزيئى (شكل ٢٥ ، ص ٨٣) . ونتيجة لهذا فان الصخور النارية تختلف إختلافا بيناً فيما بينها فى تركيبها المعدنى وبالتالى فى تركيبها الكيميائى. ولا يتوقف نوع الصخور النارية على مجرد خاصية التبلور النوعى فحسب ، بل يتوقف كذلك إلى حد كبير على التركيب الكيميائى لمادة الصهير نفسه ، فالصهير الغنى أصلا بالسيليكا والألومينا والقلويات يتصلد مكونا معادن الفلسبارات القلوية والميكا البيضاء (مسكوفيت) والكوارتز ، بينما تتكون المعادن الحديد وماغنيسية مثل الأوليفين ، الأوجيت ، الهورنبلند والميكا السوداء (بايوتيت) من الصهير الغني بالماغنيزيا وأكسيد الحديد والجير . وأما الصهير الغنى بالقلويات (الصوديوم والبوتاسيوم) الفقير فى السيليكا فانه يتصلد مكونا المعادن الفلسبائية مثل النيفيلين واللوسيت .

وتصنف الصخور النارية على أساس التركيب المعدنى ، أى حسب نسبة السيليكا التى يحتويها الصخر إلى أقسام رئيسية :

١) صخور حمضية Acidic rocks : تحتوى على أكثر من ٦٦ ٪ سيليكا ونسبة صغيرة من الحديد والماغنيسيوم ولذلك فان لونها غالباما يكون فاتحاً ، وأهم المعادن التى تكون هذه الصخور هى الكوارتز والفلسبارات البوتاسية مثل أرثوكلاز وميكروكلين وقليل من الفاسبارات البلاجيوكلازية الحمضية مثل أوليجوكلاز،وألبيت والميكا البيضاء وقليل من الميكا السوداء . ومن أمثلة هذه الصخور جرانيت ، جرانوديوريت ، أبليت ، رايوليت .

٢) صخور متوسطة Intermediate rocks : تنحصر فيها نسبة السيليكا بين ٦٦ ٪ و ٥٢ ٪ وتزداد بها نسبة الحديد والماغنسيوم عن النوع السابق ، وهى لذلك ذات لون متوسط ولكنه أقتم من الصخور الحمضية . ومن أهم المعادن المكونة لها : الفلسبارات البلاجيوكلازية المتوسطة التركيب مثل أنديزين ، ومعادن الأمفيبولات مثل الهورنبلد ، وقليل من الفاسبارات البوتاسية والميكا السوداء ومن أمثلة هذه الصخور دايوريت ، أنديزيت ، تراكيت .

٣) صخور قاعدية Basic rocks : تحتوى على نسبة ٥٢ — ٤٥ ٪ من السيليكا وتكثر فيها نسبة المعادن الحديد وماغنيسية مثل الأوليفين والبيروكسينات ، وكذلك الفلسبارات البلاجيوكلازية القاعدية مثل أنورتيت، ويندر وجود معدن الكوارتز فى هذه الصخور . ولون هذه الصخور عادة قاتم يميل إلى السواد ، ومن أمثلتها صخر جابرو ، دوليريت ، بازلت .

٤) صخور فوق قاعدية Ultra-basic rocks : تقل فيها نسبة السيليكا عن ٤٥ ٪ من تركيبها وتتكون أساسا من المعادن التى تحتوى على نسبة عالية

جدا من الحديد والماغنسيوم مثل الأوليفين ومن أمثلتها صخر بريدوتيت ، دونيت ويتكونان أساسا من معادن الأوليفين ، وصخر بيروكسينيت ومعظمه من معادن البيروكسينات ، وكذلك صخر هورنبلنديت ويتكون من الهورنبلند .

ويمكن تصنيف الصخور النارية بصفة عامة وبطريقة مبسطة يسهل استيعابها تشمل كل من التصنيفين الأساسيين وهما التصنيف حسب بيئة وطريقة التكوين ، والتصنيف الذى يعتمد على التركيب المعدنى للصخور ، أى أن هذا التصنيف العام يتوقف أساسا على نوع نسيج الصخور ونسبة السيليكا (وبالتالى اللون والوزن النوعى) كما هو موضح بالجدول المرفق (جدول رقم ١) .

وصف بعض الصخور النارية

يمكن الاستفادة بالجدول السابق فى وصف الصخور النارية من حيث تركيبها المعدنى وطريقة تكوينها

الصخور الجوفية

الجرانيت Granite : صخر حمضى يتكون من المعادن الأساسية Essential minerals : كوارتز والفلسبار البوتاسى مثل أرثوكلاز أو ميكروكلين ، والميكا البيضاء (ماسكوفيت) أو السوداء (بايوتيت) وهذه معادن سائدة Dominant . وقد توجد بعض المعادن الأساسية الأخرى ولكن بنسبة أقل من المعادن السائدة ، فمثلا قد يوجد قليل من الهورنبلند ، ونادراً ما يوجد الأوجيت . وينتج عن هذا التركيب المعدنى الحمضى لون الجرانيت الوردى الفاتح ووزنه النوعى الصغير نسبيا .

ويوصف الجرانيت حسب حجم بلورات المعادن المكونه له ، فهو صخر جوفى ذو نسيج جرانيتى قد يكون كبير البلورات أو دقيقها وغالباً ما تكون بلوراته كاملة الهيئة واضحة المعالم .

جرانوديوريت Granodiorite : ويتشابه إلى حد ما مع الجرانيت فى تركيبه المعدنى إلا أن نسبة الفلسبار البوتاسى تقل بكثير فى الجرانوديوريت، وتزيد نسبة معادن البلاجيوكلاز الصودى حيث تحل محل الأرثوكلاز ويتغير لون الجرانوديوريت بين فاتح وداكن حسب إزدياد البلاجيوكلاز. والمعادن الحديد وماغنيسية القاتمة مثل الهورنبلند . والجرانوديوريت صخر جوفى جرانيتى النسيج كبير البلورات أو دقيقها .

سيانيت Syenite : صخر متوسط فى تركيبه المعدنى ويتكون أساسا من الفلسبارات البوتاسية (أرثوكلاز) ، والبلاجيوكلاز الصودى وهما المعدنان الأساسيان السائدان ، هذا بالإضافة إلى قليل من المعادن الأساسية الأخرى مثل الميكا السوداء والأمفيبولات (هورنبلند) . وقد يوجد الكوارتز كمعدن غير أساسى بنسبة ضئيلة جدا أو ينعدم وجوده فى صخور السيانيت . وصخر السيانيت فاتح أو متوسط اللون ، ونسيجه دقيق التبلور متساوى الحبيبات أى أنه صخر جوفى .

دايوريت Diorite : صخر متوسط التركيب المعدنى ومكوناته الأساسية السائدة هى البلاجيوكلاز الصودى (أوليجوكلاز) والمتوسط (أنديزين). ومن المعادن الأساسية الأخرى : الهورنبلند وتوجد بكميات متوسطة ،والميكا السوداء بنسبة أقل من الهورنبلند ، وكذلك بعض معادن البيروكسينات

(أوجيت) بكميات قليلة . ويوجد الفلسبار البوتاسي (أرثوكلاز) بنسبة ضئيلة جدا إلى حد اعتباره معدنا غير أساسي ، وأما الكوارتز فيندر وجوده أن لم ينعدم نهائيا . ولون الصخر قاتم بصفة عامة ، وتزداد قتامة لونه بازدياد نسبة المعادن الحديدوماغنيسية . والصخر جوفي أي أن نسيجه منتظم قد يكون متوسط أو دقيق التبلور ، ويوجد عادة في كتل اللاكوليث أو الباثوليث .

جابرو Gabbro : صخري قاعدي شائع الوجود يتكون أساسا من المعادن السائدة الآتية : البلاجيوكلاز القاعدي (لابرادوريت - بايتونيت - أنورثيت) والبيروكسينات (أوجيت ، أنستاتيت) . وتوجد معادن أخرى غير سائدة مثل الهورنبلند والأوليفين وكميات ضئيلة من البايوتيت ، بجانب المعادن الإضافية الأخرى مثل ماجنيتيت وكروميت . وصخر الجابر وأسود اللون ذو نسيج منتظم متوسط التبلور حيث أنه جوفي .

بريدوتيت Peridotite : وهو صخر فوق قاعدي ذو لون أخضر قاتم أو أسود ويتوقف على تركيبه المعدني، وغالبا ماتكون المعادن الحديدوماغنيسية هي السائدة في هذا الصخر . ويسمى الصخر دونيت Dunite إذا تكون أساسا من معادن الأوليفين بنسبة عالية جدا ، ويسمى بيروكسينيت Pyroxenite إذا كانت معظم مكوناته الأساسية من معادن أوجيت أو أنستاتيت ، ويسمى هورنبلنديت Hornblendite إذا تكون من معدن الهورنبلند بنسبة تفوق المعادن الأخرى وغالبا ما تحتوي الصخور فوق القاعدية على معادن إضافية مثل ماجنيتيت ، كروميت والمينيت .

الصخور البيجماتيتية

تتكون صخور البيجماتيت من مواد الصهير المتبقية بعد تكوين الصخور النارية الجوفية حيث يصبح الجزء المتبقي أقل لزوجة أي أكثر ميوعة عن ذي قبل . وتسمح طبيعة الصهير المتبقي بتكوين معادن ذات بلورات كبيرة جداً إلى حد قد تبلغ فيه بضعة أقدام في الطول ، وتكون عادة واضحة نموذجية الشكل ، وبذلك تتميز صخور البيجماتيت بنسيج منتظم كبير البلورات الكاملة الهيئة . وتتكون صخور البيجماتيت متداخلة في هيئة جدد أو عروق قد تتقاطع مع الصخور النارية الجوفية التي سبق تكوينها في المرحلة الأولى من تصلد الصهير ، أو قد تتداخل بين طبقات صخور المكان التي تغزوها ، وبذلك تكون صخور البيجماتيت حلقة الإتصال بين الصخور النارية الجوفية والصخور النارية السطحية أي البركانية من ناحية طريقة تكوينها وتواجدها .

أما عن تركيبها المعدني فهو حمضي ، يشبه التركيب المعدني لصخر الجرانيت إلى حد كبير : فتتكون صخور البيجماتيت من معادن أساسية تسود فيها نسبة الكوارتز والفلسبار البوتاسي والميكا وخاصة معدن ماسكوفيت الذي يتواجد بكمية أكبر من معدن بايوتيت . وتعتبر صخور البيجماتيت مصدرا هاما لبلورات الكوارتز والماسكوفيت والفلسبارات .

الصخور السطحية (البركانية)

<u>رايوليت</u> Rhyolite : صخر سطحي ذو نسيج دقيق الحبيبات ، حمضي ذو لون فاتح يقابل الجرانيت في تركيبه المعدني ، إذ يتكون أساسا من الكوارتز وأرثوكلاز وقليل من الميكا وأحيانا الهورنبلند . ويوجد صخر الرايوليت في الطفوح البركانية حيث يتميز بنسيج دقيق أو خفي التبلور ،

ويوجد أحياناً في الصخور تحت السطحية المتداخلة مثل الجدد فيكون نسيجه حينئذ بورفيريا .

تراكيت Trachyte : صخر بركاني ذو نسيج دقيق التبلور ، أو تحت سطحي ذو نسيج بورفيري يحتوى على بلورات واضحة « فينوكريست » من معدن سانيدين (إحدى عينات الأرثوكلاز) ، ونادراً ما يتكون في نسيج زجاجي . والصخر ذو لون فاتح أو متوسط إذ أن تركيبة المعدني متوسط يناظر تركيب صخر السيانيت ، ويحتوى على المعادن الأساسية : أرثوكلاز وبلاجيوكلاز صودى (أوليجوكلاز) وهما السائدان ، الميكا والهورنبلند أما المعادن الإضافية فمتنوعة ، فقد يوجد منها الأوجيت ، الكوارتز أو النيفيلين أو اللوسيت ، ماجنيتيت ، زيركون ، أباتيت .

بازلت Basalt : وهو صخر قاعدى قاتم اللون يشابه صخر الجابرو الجوفي في تركيبه المعدني ويتكون من معادن البلاجيوكلاز القاعدية ، والبيروكسينات وكميات قليلة من الأمفيبولات والأوليفين . ويتواجد الماجنيتيت كمعدن إضافي ولكن قد تزيد نسبته في بعض الأحيان لدرجة إعتباره كمعدن أساسي . ويتميز البازلت بنسيج بورفيرى ذى بلورات دقيقة في وسط خفي التبلور أو زجاجي . وصخر البازلت من أكثر صخور القشرة الأرضية شيوعا حيث يوجد بكثرة في الجدد والطفوح البركانية .

أبسيديان Obsidian : صخر بركاني حمضى التركيب ذو لون فاتح مثل الأحمر والأخضر وأحياناً ذو لون أسود مبرقش بالأبيض . ونسيجه زجاجي عديم التبلور إلا أنه قد يحتوى على بعض البلورات الدقيقة جداً أو الخفية

التبلور ، وتبدو كذرات من الرماد فى وسط زجاجى ، كما قد يحتوى على فراغات غازية .

صخر القار (بتشستون) Pitchstone : ذو لون فاتح إلى متوسط مثل اللون الأحمر أو الأخضر أو البنى ، وتركيبه المعدنى حمضى يحتوى على نسبة كبيرة من الماء قد تصل إلى ١٠ ٪ ، ونسيجه زجاجى عديم التبلور .

الحجر الخفاف (بوميس) Pumice : صخر حمضى فاتح اللون ويشابه صخر الرايوليت فى تركيبه المعدنى ولكنه يتميز بنسيج فقاعى أو اسفنجى مما يخفف وزنه لدرجة تسمح له بالطفو على سطح الماء إلى مسافات بعيدة عن مصدره .

تراكيليت Trachylite : صخر سطحى ذو نسيج زجاجى ، داكن اللون قاعدى فى تركيبه المعدنى الذى يشابه التركيب المعدنى لصخور البازلت.

ثانياً ـ الصخور الرسوبية

تتكون الصخور الرسوبية نتيجة تفتت صخور أخرى سبق تكوينها ، ثم ترسب المواد الناتجة فى مكان جديد تحت ظروف عادية من الضغط والحرارة . ويتم ذلك بواسطة عوامل التعرية Denudation ، فتؤدى التجوية Weathering إلى تكسير الصخور الأصلية وتفتيتها تحت تأثير النشاط الميكانيكى أو الكيميائى للأمطار والرياح والجليد والصقيع أو الإختلاف الدورى فى درجة الحرارة ، ثم نقل المواد الناتجة من عمليات التجوية ـ أما فى حالة صلبة على هيئة حبيبات صغيرة أو مواد دقيقة غير قابلة

للذوبان ، أو فى حالة سائلة على هيئة محاليل — من مكانها الأصلى بواسطة عوامل النقل Transport مثل المياه الجارية أو الرياح والثلاجات Glaciers ، إلى حيث تتجمع فى هيئة رواسب صخرية . وعادة ما تتكون هذه الرواسب فى هيئة طبقات متعاقبة — الأحدث فوق الأقدم منها — وتختلف فيما بينها فى سمكها وتكوينها وحجم الحبيبات المكونة لها وألوانها وجميع صفاتها الأخرى، وبذلك يمكن تمييز مستويات أو سطوح فاصلة لكل من هذه الطبقات . ثم تأتى بعد ذلك عملية تماسك أو تصلد Consolidation هذه الرواسب الصخرية وذلك بالتحام Welding مكوناتها مع بعضها تحت تأثير الضغط الناشئ من ثقل الرواسب الأخرى التى تعلوها ، أو قد يتم التصلد بواسطة مادة لاصقة أو مادة لحام Cement ، مثل كربونات الكالسيوم أو السيليكا أو أكاسيد الحديد ، التى قد تتواجد بين مكونات هذه الرواسب . وتتكون الصخور الرسوبية من خليط مواد مختلفة ذات أصل متعدد وتركيب كيميائى أو معدنى متباين ، تحت ظروف متنوعة وبيئات مختلفة ، وذلك مما يؤدى إلى تعدد أنواعها . وتصنف الصخور الرسوبية حسب طريقة تكوينها وظروف نشأتها إلى ثلاثة أقسام رئيسية :

١) صخور رسوبية ميكانيكية النشأة Mechanically-formed sedimentary rocks : تشمل هذه المجموعة كل الصخور الرسوبية التى تتكون من قطع وفتات الصخور السابقة التكوين التى يتم نقلها — بواسطة المياه أو الرياح أو الثلاجات أو بفعل الجاذبية الأرضية — دون أن يطرأ عليها أى تغير كيميائى إلى حيث تترسب بطريقة آلية ، ثم تتماسك وتتصلد .

٢) صخور رسوبية كيميائية النشأة Chemically-formed sedimentary rocks : تتكون هذه الصخور نتيجة ترسبها من محاليل تحتوى على مواد مذابة عندما ترتفع درجة تركيزها تحت تأثير الظروف الطبيعية المحيطة بها . أو قد تتكون الرواسب نتيجة تفاعل كيميائى بين مكونات هذه المحاليل .

٣) صخور رسوبية عضوية النشأة Organically-formed sedimentary rocks تتكون الصخور العضوية من تكدس البقايا الصلبة الحيوانية والنباتية المتخلفة عن الكائنات الحية بعد موتها ، مثل الهيكل العظمى والمحارات والأصداف الحيوانية ، ثم تماسكها وتصلدها ، وكذلك أوراق النباتات وجذوع الأشجار وغصونها التى قد تترسب بين طبقات الصخور الرسوبية الأخرى ثم تتحلل وتتفحم .

الصخور الرسوبية الميكانيكية النشأة

يمكن تمييز الصخور الرسوبية الميكانيكية فى ثلاثة أنواع رئيسية تتوقف على حجم الحبيبات المكونة لها كما يلى :

أ ـ صخور رسوبية ميكانيكية كبيرة الحبيبات Coarse-grained, rudaceous or pebbly : تتكون من حبيبات كبيرة الحجم ـ ذات قطر لا يقل عن ٢ مم ، قد يصل أحياناً إلى بضعة سنتيمترات ـ تعرف عامة بالحصباء Gravel أو « الحصى » Pebbles ـ وأهم هذه الصخور هى :

١) كونجلومرات Conglomerate : يتكون هذا الصخر من قطع صخرية مختلفة الأصل ، ذات حواف مستديرة (شكل ٤٠) بسبب نقلها واحتكاكها

بعضها أثناء نقلها عن طريق مياه الأنهار التى تحملها لترسبها عند مصابها بالقرب من شواطىء البحار . وتتصلد مكونات هـذا الصخر من حصباء وحصى وأحيانا حبيبات رمل خشن مع بعضها بواسطة مواد لاحمة مختلفة مثل الالحام الجيرى Calcareous cement أو السيليكى Siliceous أو الحديدى Ferruginеous .

٢) بريشيا Breccia : تختلف البريشيا عن صخر الكونجلومرات فى شكل الحبيبات المكونة لها إذ هى ذات حواف حادة الزوايا (شكل ٤١) وليست مستديرة كما فى الكونجلومرات ، وذلك لأن البريشيا تتكون عادة فى البحيرات والخلجان والبحار المقفولة بعيداً عن تأثير التيارات البحرية القـوية حيث لا تتعرض حبيباتها للاحتكاك ومن ثم عدم التآكل والإستدارة .

ب ـ صخور رسوبية ميكانيكية متوسطة الحبيبات (أو الرملية)

Medium-grained,arenaceous or sandy : يختلف حجم الحبيبات المكونة لهذه الصخور ، فيتراوح قطرها ما بين ٠٫٠٢ و ١/٢ ٣ مم. وتعرف هذه الصخور عامة بالصخور الرملية حيث أنها تتكون من حبيبات معدنية يسودها الكوارتز (أو الرمل) الذى يصعب تأثره بعوامل التعرية ، وتوجد حبيبات قليلة من معادن أخرى مثل الفلسبار والاوجيت والميكا ، وأحيانا الماجنيتيت . وقـد تحتوى كذلك على بعض أجزاء مفتتة من قشور أو هياكل الكائنات الحية وأهم الصخور الرملية :

١) الحجر الرملى Sandstone : يتكون من الرمل الذى تسوده حبيبات الكوارتز المتوسطة أو الدقيقة الحجم ذات الحواف المستديرة (شكل ٤٢)

وتتماسك هذه الحبيبات مع بعضها بواسطة مادة لاحمة قد تختلف من صخر لآخر . وتتميز أنواع الحجر الرملي حسب المادة اللاحمة إلى :

١) حجر رملي جيري Calcareous sandstone : إذا كانت المادة اللاحمة كربونات الكالسيوم . حجر رملي سيليكي Siliceous sandstone : إذا كانت المادة اللاحمة هي السيليكا . حجر رملي حديدي Ferruginous sandstone : إذا كانت أكاسيد الحديد (هيماتيت أو جوتيت) هي المادة اللاحمة .

٢) الجريت (حجر الطاحون) Grit : صخر رملي مكون من حبيبات الرمل الخشنة ، ذات حجم كبير (٢ – ١مم) أو متوسط (١ – ½مم) وذات حواف حادة لم تتآكل أو تستدر بعد . وتتماسك حبيبات هذا الصخر بمادة لاحمة جيرية أو سيليكية أو حديدية .

٣) أركوز Arkose : صخر رملي تزيد فيه نسبة حبيبات معادن الفلسبار عن حبيبات الكوارتز والمعادن الأخرى ، وغالبا ما تتماسك حبيباته بمـــادة لاحمة سيليكية .

٤) جرايواك Greywacke : صخر رملي أوجريت (رملي ذو حبيبات كبيرة حادة الحواف) يحتوى على نسبة عالية من حبيبات المعادن السيليكاتية القاعدية مثل الهورنبلند والأوجيت والكلوريت ، وكذلك معدن ماجنيتيت. وعلى ذلك فصخر الجرايواك (رملي حديد وماغنيسى) يقابل صخر الأركوز (رمـلي فلسباري) ، فينشأ الأول نتيجة تفتت الصخور النارية القاعدية بينما ينتج صخر الأركوز عن تفتت الصخور النارية الحمضية .

حـ - صخور رسوبية ميكانيكية دقيقة الحبيبات (أو الطينية)

Fine-grained, argillaceous or clayey : تتكون هذه الصخور من حبيبات دقيقة لا يزيد قطرها عن ١/١٦ مم ، تنتج عن تحلل وتفتت معادن السيليكات وخاصة سيليكات الألومينا المائية (المعادن الطينية Clay minerals). ويمكن تمييز نوعين من هذه الحبيبات حسب حجمها أو قطرها : الغرين أو الطمى Silt or mud وهى حبيبات كبيرة نسبيا يتراوح قطرها بين ١/١٦ - ١/٢٥٦ مم ، والطين Clay وهو عبارة عن حبيبات دقيقة جداً لا يزيد قطرها عن ١/٢٥٦ مم ، وتتماسك هذه الحبيبات الدقيقة نتيجة فقدان جزء من محتوياتها المائيـة لمجرد الضغط الواقـع عليها والناتج من ثقل الرواسب التى تعلوها . وقد تحتوى الصخور الطينية على بعض البقايا العضوية المتحالة مثل الدبال Humus أو بقايا نباتية متفحمة ، وذلك مما يكسب بعضها الألوان القاتمة أو السوداء . وهناك بعض الصخور الطينية التى يشوبها اللون الأحمر أو الأصفـر أو الأخضر نتيجة إحتوائها على بعض المواد الملونة مثل أكاسيد الحديد أو المنجنيز . وأهم الصخور الطينية :-

١) الطـين (صلصال) Clay : يتكون نتيجة تماسك حبيبات طينية دقيقة جداً ، ويحتوى على نسبة كبيرة من الماء (لا تتجاوز ١٥ ٪) كافية لأن تكسبه خاصية اللدانة « قابلية التشكيل » Plasticity .

٢) الحجـر الطينى Mudstone : يتحول الطين إلى حجر طينى عندما يفقد الجزء الأكبر من محتوياته المائية نتيجة للجفاف أو زيادة الضغط الواقـع عليه بحيث يفقد لدانته .

٣) الطفل (الحجر الطينى الصفحى) Shales : ينتج هذا الصخر عن الحجر الطينى نتيجة لزيادة الضغط الذى يفقده كل محتوياته المائية ويكسبه خاصية الترتيب الصفحى أو الترتيب الورقى « التورق » Lamination . ولذلك يتميز صخر الطفل بظاهرة التسبخ الصخرى Fissility حيث يمكن فصله أو تقشيره فى هيئة وريقات Laminae ، وترجع هذه الخاصية إلى إحتواء صخر الطفل على بعض قشور دقيقة من المعادن الصفائحية مثل الميكا ، ترتب نفسها تحت تأثير الضغط فى مستويات التقشر ، وقد تحتوى بعض صخور الطفل على شوائب عضوية فحمية أو بترولية فتكسبها اللون القاتم أو الأسود .

٤) الطين الحرارى Fire clay : وهو صخر الطين الذى يخلو من الجير والقلويات والحديد فيكتسب خاصية مقاومة الاحتراق Refractory . ويوجد الطين الحرارى عادة تحت طبقات الفحم حيث تندر المواد الجيرية والقلوية والحديدية إذ أن النباتات التى تفحمت تكون قد أمتصتها .

٥) مارل Marl : عبارة عن صخر طينى يحتوى على نسبة عالية من الجير (كربونات الكالسيوم) . ويعتقد البعض أن صخر المارل عبارة عن صخر طينى يحتوى على كمية كبيرة من حبيبات الرمل الدقيقة جداً بدلا من كربونات الكالسيوم أو قد يتواجد الجير بنسبة قليلة مع الرمل الدقيق الحبيبات .

الصخور الرسوبية الكيميائية النشأة

يمكن تمييز الأنواع الآتية من الصخور الرسوبية الكيميائية على أساس تركيبها :ـ

أ ـ صخور رسوبية جيرية Calcareous rocks : تتكون نتيجة ترسيب

كربونات الكالسيوم من المحاليل الجيرية المحتوية على بيكربونات كالسيوم ذائبة . وأهم أنواعها :

١) الحجر الجيرى (غير العضوى) Inorganic limestone : وهو صخر أبيض أو رمادى اللون إذا كان نقيا ، ولكنه غالبا ما يحتوى على شوائب تكسبه ألوانا مختلفة .

٢) الحجر الجيرى البطروخى (السرئى — الأؤليتى) Oolitic limestone : يتكون من حبيبات كروية صغيرة جداً نتيجة تفاعل كيميائى بين محاليل الأملاح فى مياه البحار والبحيرات ، يؤدى إلى ترسيب كربونات الكالسيوم فى طبقات رقيقة حول نواة دقيقة (مثل حبيبة رمل أو فتات صدفة حيوان) فى هيئة كريات صغيرة (سرئيات) تتماسك مع بعضها بأية مادة لاحمة غالبا ما تكون جيرية .

٣) ترافرتين (سنترجيرى) Travertine, calc-cinter : وهى رواسب جيرية تتكون حول الينابيع الحارة ، ومن مياهها المتصاعدة المحملة بمحلول بيكربونات الكالسيوم ، حيث تفقد غاز ثانى أكسيد الكربون بمجرد تعرضها للجو فترسب كربونات الكالسيوم على هيئة كتل من مسحوق أبيض متماسك .

٤) ستلاكتيت ، ستلاجميت Stalactite, stalagmite : تتكون هذه الصخور فى هيئة أعمدة جيرية مخروطية الشكل تتدلى من سقوف الكهوف Stalactite أو ترتفع على أرضيتها Stalagmite (شكل ٤٣) بمجرد تعرض محاليل بيكربونات الكالسيوم الجيرية إلى فقدان ما تحتويه من غاز ثانى أكسيد الكربون ، فترسب كربونات الكالسيوم .

٥) دولوميت Dolomite : يتكون من كربونات الكالسيوم وكربونات الماغنسيوم بنسب مختلفة من كل منها نتيجة تبادل كيميائى بين عنصرى الكالسيوم والماغنسيوم . وقد يتم هذا التبادل بين المحاليل الموجودة فى مياه البحر ، أو قد ينشأ الدولوميت نتيجة إحلال عنصر الماغنسيوم الموجود فى محاليل جارية محل الكالسيوم الموجود بالصخور الجيرية السابقة التكوين . وبطريقة مماثلة تتكون كربونات الحديد التى تسمى «خام حديد المستنقعات» Bog iron ore .

ب — صخور رسوبية سيليكية Siliceous rocks : تتكون من ترسب السيليكا مثل :

١) فلينت (صوان) Flint : صخر قاتم ، أسود أو رمادى اللون يتكون من خليط من السيليكا المتبلورة وغير المتبلورة فى هيئة عقد أو درنات Concretions مختلفة الحجم ، ويحتوى عادة على بعض الشوائب الملونة مثل أكاسيد الحديد أو الماغنسيوم . وأحيانا يتكون الفلينت من حبيبات أو كريات صغيرة جدا فى هيئة طبقات رقيقة بين طبقات الصخور الرسوبية الأخرى .

٢) شيرت Chert : وهو نوع من الصخور السليكية غير النقية التى تحتوى على نسبة عالية من الجير ويتكون عادة من حبيبات دقيقة جدا من سيليكا غير متبلورة فى هيئة طبقات رقيقة بين الصخور الجيرية .

٣) جيزيريت (سنتر سيليكى) Geyserite (Silceous-sinter) : ويتكون من ترسب مادة السيليكا المتصاعدة مع مياه الينابيع الحارة المتفجرة التى تسمى جيزير .

٤) الكاولين (الطين الصينى) Kaoline . يتكون من سيليكات الألومنيوم

المائية المتبقية من تفتت وتحلل معادن الفلسبار (أرثوكلاز)المكونة للصخور النارية وخاصة الجرانيت . وقد تجرف مياه الأمطار هذه المواد المفتتة وتحملها إلى حيث تترسب فى هيئة طبقات .

حـ — صخور رسوبية ملحية Saline deposits : يؤدى تبخر مياه البحيرات والبحار المقفولة إلى تركز المحاليل الملحية الموجودة بهـا ثم ترسيبها فى هيئة طبقات متعاقبة ، تبدأ بطبقات الأمـلاح القليلة الذوبان فى المـاء . ومن أشهر الرواسب الملحية ، تلك الموجودة بأواسط ألمانيا (ستاسفورت) والتى توضح تعاقب ترسيب الأملاح ، مبتدئة بالدولوميت ثم الكالسيت ، ويليهـا أملاح الجبس ثم أنهيدريت، ويتبعها ملح الطعام، ثم بوليهاليت Polyhalite . (كبريتات كالسيوم وماغنسيوم وبوتاسيوم + ماء) ، ثم كزيريت Kieserite (كبريتات الماغنسيوم المائية) ثم كارناليت Carnalite (كلوريد البوتاسيوم والماغنسيوم المائية) . وتوجد الرواسب الملحية فى مناطق متعددة فى مصر فيكثر صخر الجبس فى الصحراء الشرقية وعلى ساحل البحر الأحمر، ورواسب ملح الطعام فى ملاحات إدكو ورشيد والمكس ورواسب النطـرون (كـربونات الصوديوم المائيه) مع أملاح أخـرى بوادى النطرون . وأهم الصخـور الرسوبية الملحية :

١) الجبس Gypsum : يتكون من حبيبات دقيقة من كبريتات الكالسيوم المائية تترسب فى طبقات ، وأحيانا فى صفائح أو كتل ذات هيئة ليفية . ويعتبر الجبس أول الصخور الملحية التى تترسب بكميات ضخمة نتيجة تبخر مياه البحيرات والبحار المقفولة عندما يتبخر ٣٧٪ من الماء .

٢) أنهيدريت Anhydrite : يتكون بترسيب كبريتات الكالسيوم اللامائية

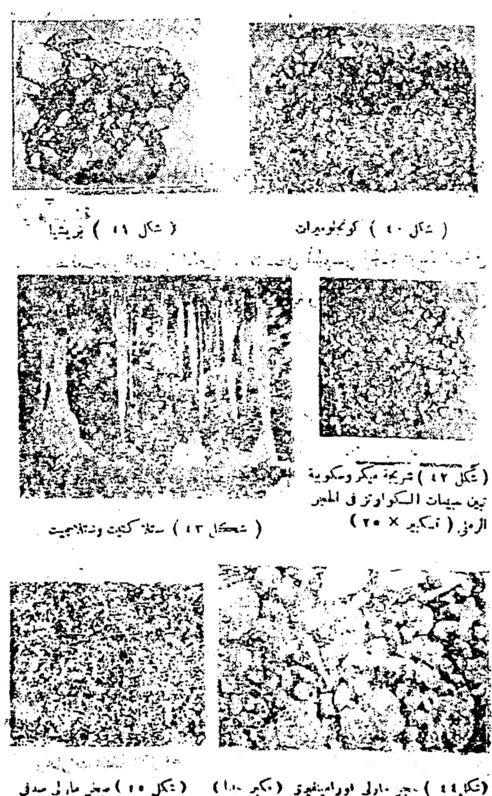
مع الصخور الملحية الأخرى مثل الجبس وملح الطعام . ويترسب الأنهيدريت من مياه البحر تحت درجة حرارة متوسطة (٢٥°م) فى هيئة طبقات غالبا ماتكون متبادلة مع طبقات الجبس ، ولذلك يسود الاعتقاد أن هذين النوعين من الرواسب الملحية يتكونان بطريقة دورية سنوية Annual أو فصلية Seasonal . أما بالنسبة لأولية تكوينها فالاحتمال الكبير هو ترسب الكبريتات اللامائية أى الأنهيدريت أولا ، ثم يتحول هذا إلى كبريتات مائية أى جبس :

٣) الملح الصخرى Rock salt : ويتكون هذا الصخر فى حالته النقية نتيجة ترسب كلوريد الصوديوم من مياه البحيرات بسبب البخر الشديد (عندما يتبخر أكثر من ٩٠٪ من ماء البحيرات) بعد ترسب أملاح الكبريتات. وغالبا مايحتوى الملح الصخرى على بعض شوائب من أملاح البوتاسيوم مثل سيلفين (بوكل) Sylvine ، وعادة ماتوجد طبقات الملح الصخرى فوق طبقات الرواسب الملحية الكبريتاتية مثل أنهيدريت وجبس .

٤) الرسوبيات الملحية البوتاسية Potas salts : تترسب بعد الملح الصخرى إذا ما استمر تبخر الماء لدرجة يتشبع فيها المحلول بهذه الأملاح المعروفة بشدة قابليتها للذوبان فى الماء . وتتواجد الرواسب البوتاسية إما مختلطة مع الملح الصخرى كشوائب فيه ، أو تتكون فى طبقات رقيقة تعلو طبقات الملح الصخرى . وأهم هذه الرواسب البوتاسية هى سيلفين وكارناليت (بوكل ، ما كل$_2$ – ٦ يد$_2$ا) وكاينيت (بوكل ، ماكب ا$_4$ – ٣ يد$_2$ا) Kainite .

الصخور الرسوبية العضوية

تنشأ الصخور الرسوبية العضوية نتيجة تراكم بقايا الكائنات الحية ،



(شكل ٤٠) كونجلوميرات

(شكل ٤١) بريشيا

(شكل ٤٢) شريحة ميكروسكوبية تبين حبيبات الكوارتز في الحجر الرملي (تكبير × ٢٥)

(شكل ٤٣) ستلاكتيت وستلاجميت

(شكل ٤٤) حجر جيري فورامينيفيري (تكبير ١٠٠)

(شكل ٤٥) صخر مارلي صدفي

الحيوانية منها والنباتية، فى طبقات سميكة ، وتحللها بواسطة الفطريات والبكتريا خلال أزمنة طويلة ، ثم تماسك مع بعضها فى هيئة صخور ، وذلك إما لمجرد الضغط الواقع عليها من الطبقات التى تعلوها ، أو نتيجة عملية اختزال أو تفحم (فى البقايا النباتية) تؤدى إلى تماسكهـا وتصلدها . ويمكن تمييز نوعين من الصخور العضوية .

أ ـ صخور عضوية حيوانية : وتتكون من مواد عضوية جيرية ، سيليكية أو فوسفاتية .

١) الصخور العضوية الجيرية : مثـل الحجر الجيرى العضـوى Organic limestone : وهو أهم الصخور الجيرية وأكثرها انتشارا ، ويتكون من تراكم وتحلل قشـور وهياكل الحيوانات البحرية بعد موتهـا . وغالبا ما تتكون الهياكل العظمية لهذه الحيوانات من كربونات الكالسيوم ، كربونات الماغنسيوم ، ثانى أكسيد السيليكون وكذلك فوسفات الكالسيوم . ويتكون الحجر الجيرى العضوى بصفة أساسية من البقـايا الجيرية للحيوانات فى هيئـة حبيبات غاية فى الصغر متماسكة مع بعضها فى كتـل أو طبقات . وقد تحتوى الصخور الجيرية على نسبة كبيرة من كربونات الماغنسيوم وتعرف حينئذ بالدولوميت (ص١٢٢) . وتسمى الصخور الجيرية حسب نوع الحفريات التى قد تكون سائدة الانتشار فيها مثـل الحجر الجيرى المرجانى Coral limestone حيث يكثر وجود الهياكل العظمية للمرجان ، والحجر الجيرى الفورامينيفرى Foraminiferal limestone (شـكل ٤٤) أو حجر جـيرى صدفى Shelly limestone (شكل ٤٥) بصفة عامة إذا كانت الحفريات الموجودة ذات أصداف ومحارات مختلفة الأنواع

الطباشير Chalk : نوع من الحجر الجيرى العضوى يتميز بلونه الأبيض أو الأبيض المغبر (رمادى خفيف) ونعومة ملمسه وقلة صلادته ، ويتكون فى مياه البحار العميقة من حبيبات دقيقة من قشور هياكل الحيوانات الأولية الوحيدة الخلية المعروفة بالفورامنيفيرا .

٢) الصخور العضوية السيليكية : تتكون من ترسب وتراكم بقايا الحيوانات ذات الهياكل المظيمة السيليكية ومنها :

الرواسب الراديولارية Radiolarian ooze : تتكون فى المياه البحرية العميقة نتيجة تجمع بقايا الحيوانات البحرية ذات الهياكل السيليكية المعروفة باسم راديولاريا .

٣) الصخور العضوية الفوسفاتية Phosphate rocks : تتكون أساسا من فوسفات الكالسيوم الناتج من تراكم إفرازات بعض الطيور أو تكدس بقايا الهياكل العظمية الفوسفاتية لبعض الحيوانات البحرية ومنها :

جوانو Guano : وهى مادة خفيفة بنية اللون ذات رائحة نشادرية نفاذة تتكون من إفرازات الطيور فى بعض الأماكن الجافة . وتتواجد رواسب الجوانو غالبا على الجزر الصغيرة حيث تكثر الطيور (مثل الجزر الصغيرة التى تقع بالقرب من شاطىء بيرو الغربى) .

صخر الفوسفات Phosphate rock : يتكون من فوسفات الكالسيوم مع مواد أخرى مثل الجير فى هيئة طبقات أو درنات أو تكاوين عدسية Lenticular formations فى طبقات الحجر الجيرى أو الرملى . وينتج صخر الفوسفات عن ترسب عظام الأسماك والزواحف وتحللها ، ثم حدوث تفاعل كيميائى بين الأملاح الموجودة فى مياه البحار والمواد الفوسفورية الناتجة من

هذا التحلل . وتوجد طبقات الرواسب الفوسفاتية فى مناطق الواحات الخارجة والداخلة بالصحراء الغربية . وكذلك فى القصير والسباعية .

ب ـ صخور عضوية نباتية ـ تنتج عن تكدس البقايا النباتية ثم تعفنها وتحللها وتفحمها ، وتتكون إما من مواد سيليكية أو كربونية .

١) الرسوبيات الدياتومية Diatomaceous ooze ، تتكون فى المياه العذبة أو المالحة نتيجة تجمع الهياكل السليكية للطحالب المعروفة باسم دياتوم .

٢) الرسوبيات الكربونية « الفحمية » Carbonaceous deposits : تتميز باحتوائها على نسبة عالية من الكربون أو الهيدروكربونات نتيجة تفحم أو اختزال المواد النباتية التى تتكدس فى المستنقعات ، أو للغابات التى تدفن تحت الرواسب البحرية أثناء طغيان البحر على الارض . وتتم عملية تفحم هذه الرواسب النباتية فى عدة مراحل تزداد فى كل منها نسبة الكربون تدريجيا .

بيت Peat : هى مادة اسفنجية تشبه الصباق أو البرسيم المجفف المضغوط ، لا تزال توجد بها آثار بعض الألياف والبنيات الخشبية ، وينتج البيت فى أول مراحل عملية التفحم ويحتوى على نسبة تقرب من ٥٥ ٪ من الكربون ، ويستعمل كمادة رخيصة للوقود يتصاعد منها دخان كثير أثناء الإشتعال .

ليجنيت أو الفحم البنى Lignite or Brown coal : يمثل المرحلة الثانية فى عملية التفحم . وتظهر فيه بعض آثار البنيات النباتية بنسبة أقل من البيت ، ويزداد فى القتامة فيصبح بنيا مسودا . ويحتوى هذا النوع من الفحم

(رقم ٢) جدول مبسط يبين أنواع الصخور الرسوبية

المميزات / النشأة	مكونات كبيرة الحجم (أكبر من ٢ مم)	مكونات متوسطة الحجم (٢ - $\frac{1}{16}$ مم)	مكونات دقيقة الحجم (أصغر من $\frac{1}{16}$ مم)
ميكانيكية	مكونات حادة الحواف = بريشيا مكونات مستديرة الحواف = كونجلومرات	مكونات حادة الحواف نوعا ما = جريت مكونات مستديرة الحواف = حجر رملي مكونات تسودها حبيبات فلسبارية = أركوز مكونات تسودها حبيبات حديدوماغنيسية = جراي واك	يحوى نسبة من الماء (١٥٪) = طين (صلصال) لا يحتوى على ماء = حجر طيني خال من القلويات والجير = طين حراري رقائقي صفحي = طفل به نسبة عالية من الجير أو الرمل = مارل
كيميائية	جيرية	سيليكية	ملحية
	حجر جيري غير عضوي — حجر جيري بطروخي حجر جيري ماغنيسي = دولوميت حول الينابيع الحارة = ترافيرتين في الكهوف والمغارات = ستلاكتيت وستلاجميت	سيليكا متبلورة وغير متبلورة = فليت ذو نسبة عالية من الجير = شيرت حول الينابيع الحارة المتفجرة = جيزيريت متبقية من تحلل صخور نارية حمضية = كاولين	كربونات = نطرون كبريتات = جبس وأنهيدريت كلوريدات = ملح الصخر رسوبيات بوتاسية

عضوية	حيوانية			نباتية	
	جيرية	سيليكية	فوسفاتية	سيليكية	كربونية (فحمية)
	حجر جيري صدفي / مرجاني فورامينيفيري .. ألخ طباشير	رسوبيات راديولارية	صخر الفوسفات (جوانو - كوبروليت)	رسوبيات دياتومية	بيت — ليجنيت فحم بني — فحم بيتوميني أنثراسيت

على نسبة من الكربون تتراوح بين ٥٥٪ إلى ٧٢٪ ، ولذلك يمكن اعتبار أن نوع الليجنيت يتكون في مرحلة تسبق الفحم البني إذ أن متوسط نسبة الكربون في الليجنيت ٦٠٪ وفي الفحم البني ٧٠٪ ، هذا بالاضافة إلى عدم وجود آثار للبنيات النباتية الخشبية في الفحم البني بجانب سواد لونه .

الفحم القطراني (البيتوميني) Bituminous coal : ويحتوى هذا النوع على نسبة كربون تتراوح بين ٧٥٪ إلى ٩٠٪ ، ويختلف كثيرا في صفاته ويعطى لهبا مدخنا « وطقطقة » أثناء الاحتراق، وهذا هو النوع المستعمل في الأغراض المنزلية .

أنثراسيت Anthracite وهو أصلب أنواع الفحم وأحسنها جودة حيث يحتوى على نسبة عالية من الكربون ، تتراوح بين ٩٣٪ إلى ٩٨٪ ويحترق بلهب خافت غير مدخن تنتج عنه حرارة عالية جدا ولذلك يستخدم في الصناعة .

ثالثا ـ الصخور المتحولة

يعرف التحول بأنه التغير الذى يطرأ على صخور سابقة التكوين (نارية أو رسوبية) وإعادة بنائها نتيجة تغير الظروف الطبيعية مثل درجة الحرارة أو الضغط أو كليهما معا . وغالبا ما يؤدى التحول إلى تغير نوع النسيج في الصخور الأصلية أو التركيب المعدنى بما يتناسب مع التغيرات الطارئه التى تعرضت لها هذه الصخور : فالمعادن التى قد تكون فى حالة استقرار تحت ظروف معينة من الحرارة والضغط قد تصبح في حالة غير مستقرة تحت الظروف الجديدة التى قد تكون قاسية فتزعزع استقرارها وبنياتها فتضطر حينئذ إلى التغير والتحور لمواءمة الظروف الجديدة .

والأسباب الرئيسية التى تؤدى إلى تحول الصخور هى الحرارة العالية أو الضغط العالى أو كليهما ، ويساعد وجود الماء ، أو المحاليل المائية بصفة عامة ، فى إتمام عملية التحول . وتنتج الحرارة من تداخل مواد الصهير والمحاليل المائية الحارة فى صخور المكان فترتفع درجة حرارتها بالتماس ، ويعرف التحول حينئذ بالتحول الحرارى أو التماسى Thermal or contact metamorphism ، ويحدث فى المنطقة الملاصقة أو المجاورة لمادة الصهير المتداخل وهى منطقة محدودة محليا تعرف باسم حلقة التحول Metamorphic aureole ، ولذلك يعرف هذا النوع من التحول أيضا باسم التحول المحلى Local metamorphism .

ويؤدى الضغط المرتفع غير المصحوب بتغير كبير فى درجة الحرارة فى مناطق التكسر أو التفلق إلى تغير أو تحول طفيف نسبيا فى الصخور «الموضعية» الواقعة على جانبى هذه الفوالق ، ويعرف هذا النوع بالتحول الموضعى أو التحول بتغير الأوضاع Dislocation metamorphism .

أما الضغط المرتفع المصحوب بحرارة عالية والناتج من تحركات القشرة الأرضية التى تشمل مناطق شاسعة (الحركات البانية للجبال Orogenic movements) فانه يؤدى إلى تحول واسع النطاق يمتد فى أقاليم كبيرة ومساحات واسعة ولذلك يعرف بالتحول الإقليمى Regional metamorphism ، ويوصف أحيانا بالتحول الديناميكى Dynamic metamorphism إذ أنه ينتج عن حركة .

التحول الحرارى (التماسى)

يحدث التحول الحرارى فى الصخور التى تتداخل فيها مادة الصهير ـ عادة ما تكون مصحوبة بأبخرة ومحاليل شديدة الحرارة ـ ويكون التأثير الحرارى لهذه المواد المتداخلة على أشده فى المناطق المجاورة لها ، ويقل تدريجيا بعيدا

عن منطقة التماس التي قد يتراوح اتساعها بين عـــدة أمتار ومئات الامتار . ويتوقف ذلك على شدة الحرارة الناتجة عن تداخل الصهير ، أى على كتلة مادة الصهير نفسها ودرجة حرارتها وكذلك على نوع صخور المكان المحيطة بها ، فبينما يكون التحـول الناشيء من تداخل الجدد الصغيرة طفيفـا ، قد يؤدى التأثير الحرارى للجدد الكبيرة وكتل اللاكوليثه إلى تحول واضح يمتد أثره إلى مسافات بعيدة فى صخور المكان .

ويتوقف نوع الصخور المتحولة بالحرارة ، أى نوع المعـــادن الجديدة التكوين فى حلقة التحول ، على نوع صخور المكان الأصلية أى التركيب المعدنى لها ، وكذلك عـلى التركيب الكيميائى للمادة المصهورة المتداخلة : فمثلا يتحول الحجر الرملى إلى نوع آخر أصلب وأشد تماسكا ، ذى حبيبات متبلورة من الكوارتز أكبر نسبيا من حبيبات الرمل الأصلية ، ويعرف هذا الصخر باسم كوارتزيت Quartzite بينما تتحـــول الصخور الطينية ذات الحبيبات الدقيقة إلى صخور أشد صلابة تسمى هورنفلس Hornfels وتحتوى على معادن جديدة ومميزة هى معـادن سليكات الألومنيوم مثل أندالوسيت (لو٢ س ا٥) Andalusite ، سيليمانيت Sillimanite ، كورديريت (سليكات لو ، ح ، ما + ماء) Cordierite ، شتوروليت (سيليكات لو ، ح ، ما ، م + ماء) Staurolite وغيرها ، وأما الصخور الجيرية فإنها تتحول إلى رخام Marble قد تتواجد به معـادن جديدة إذا ما كان الصخر الجيرى الأصلى غير نقى .

ومن المظاهر الجديدة للصخور المتحولة بالحرارة تغيير نسيج الصخور الأصلية إلى نسيج ذى حبيبات متبلورة متساوية إما دقيقة أو متوسطة الحجم ومتراصة فى إحكام وتقارب شبه منتظم بحيث تشبه البلاط (أو المزايكو)

فى تقارب حجم حبيباته وإحكام تراصها ، ولذلك يعرف نسيج هذه الصخور بالنسيج «الموازيكى» Mosaic texture . وأهم الصخور المتحولة بالحرارة هى:

١) الصخور المتحولة عن أصل رسوبى رملى :

كوارتزيت : ينتج عن تحول الحجر الرملى، ويتكون أساسا من حبيبات متبلورة من معدن الكوارتز . وقد تحتوى بعض الأنواع على شوائب معدنية أخرى مثل الميكا أو الفلسبار أو أكاسيد الحديد . ولون الكوارتزيت أبيض مصفر (لون الرمل) إذا كان نقيا ، أو قد يتلون حسب الشوائب المعدنية الموجودة به فيتخذ اللون الأحمر القاتم أو الأحمر المصفر عن شوائب حديدية. ويتميز الكوارتزيت بنسيج موازيكى ذى حبيبات متوسطة الحجم متماسكة مع بعضها بواسطة أغلفة أو أغشية رقيقة جدا من الميكا أو الشوائب المعدنية الأخرى . أو قد تلتحم الحبيبات التحاما ذاتيا ناتجا من تراص الحبيبات مع بعضها بإحكام دون وجود مسافات بينية بينها ، ومن ثم تنتج شدة صلابة هذا الصخر .

٢) الصخور المتحولة عن أصل رسوبى طينى :

هورنفلس : ينتج من التحول الحرارى للصخور الطينية والطفلية ، وأحيانا من بعض الصخور الطينية الجيرية (مارل) . ويتكون الهورنفلس من حبيبات دقيقة جدا (قد يصعب رؤيتها بالعين المجردة) من معادن سيليكات الألومنيوم التى تتكون من جديد من مكونات الصخور الأصلية مضافا إليها بعض مكونات مادة الصهير المتداخل ، مثل معادن أندالوسيت ، سيليمانيت ، شتوروليت ، كورديريت وأحيانا ولاستونيت (كا س ا٣) Wallastonite ، دايوبسيد (كا ، ما (س ا٣)٢) Diopside . وقد توجد كذلك بعض

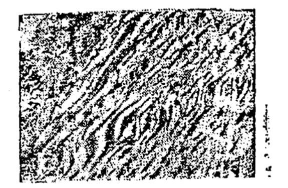
أكاسيد الألومنيوم مثل كوراندوم (لو٢ أ٣) وسبينيل (ما أ، لو٢ أ٣) .
ويسود اللون الرمادى على الألوان الأخرى فى صخور الهورنفلس، ونسيجها حبيى غالبا مايكون دقيقا، وقد توجد أحيانا بعض البلوريات الكبيرة الحجم « بورفيروبلاست Porphyroblast فى وسط موازيكى دقيق فيتشابه حينئذ ظاهريا مع النسيج البورفيرى للصخور النارية تحت السطحية.

٣) الصخور المتحولة عن أصل رسوبى جيرى :

الرخام : تتحول الصخور الجيرية النقية إلى رخام أبيض اللون ذى نسيج موازيكى منتظم، يتكون من حبيبات دقيقة أو متوسطة الحجم من معدن الكالسيت بصفة أساسية . والمعروف أن الصخور الجيرية نادرا ماتكون نقية، وتحتوى فى معظم الأحيان على كربونات الماغنسيوم (ماجنيزيت) بالاضافة إلى شوائب أخرى مثل أكاسيد الحديد ومكونات طينية وكربونية، ولهذا فغالبا مايكون الرخام مختلف الألوان لونه الأحمر أو الأخضر أو قد يكون مخططا أو منقوشا بهذه الألوان أو باللون الأسود الناتج من بعض الشوائب الكربونية مثل الجرافيت. ويحتوى الرخام الناتج من تحول الصخور الجيرية غير النقية — مثل الدولوميت، أو صخر المارل الغنى جدا بكربونات الكالسيوم والرمل — على معادن إضافية مميزة للصخور المتحولة بالحرارة مثل معدن ولاستونيت، دايوبسيد، تريموليت (سيليكات كا، ما) Tremolite، ومعادن الجارنت الكالسية مثل جروسيولاريت Grossularite .

التحول الاقليمى أو الديناميكى (التحول الضغطى الحرارى)

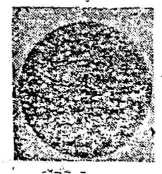
ينشأ التحول الإقليمى نتيجة تغير صخور سابقة التكوين فى مناطق إقليمية شاسعة تحت تأثير الضغط العالى المصحوب بارتفاع درجة الحرارة والناتج من



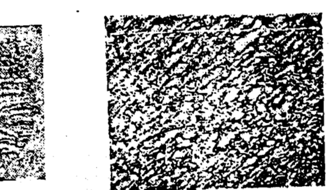
(شكل ٤٦) يبين التركيب اللوحي في صخر الاردواز



(شكل ٤٧) يبين التركيب العدسي في صخر نيس



(شكل ٤٨) شريحة ميكروسكوبية تبين النسيج الشريطي في صخر النيس (تكبير × ١٠)



(شكل ٤٩) يبين التركيب الصفائحي في صخر شيست



(شكل ٥٠) شريحة ميكروسكوبية تبين النسيج الشيستوزي في صخر الشيست (تكبير × ١٥)

حركات القشرة الأرضية . وغالبا ما يؤدى هذا النوع من التحول إلى ترتيب المعادن المكونة للصخور الأصلية (رسوبية أو نارية) فى نظام يناسب الظروف الجديدة . وقد تشتد وطأة التحول إلى درجة تزول فيها معالم الصخر الأصلى تماما ، فقد تتكسر أو تتفتت بعض المكونات المعدنية ، وأحياناً قد تنصهر أو تذوب ثم تستعيد كيانها من جديد ، متبلورة ومصفوفة بحيث تشغل أقل حيز ممكن تحت تأثير الضغط الواقع عليها ، وذلك بأن تترتب المعادن الجديدة بحيث يكون الإتجاه الطولى لبلوراتها متعامداً على إتجاه الضغط . وينتج عن هذا الترتيب تجمع المعادن فى هيئة طبقات رقيقة أو شرائط Bands، ورقات Folia ، رقائق أو صفحات Laminae ، متوازية ومتعامدة على إتجاه الضغط ، ويوصف النسيج حينئذ بأنه شريطى Banded texture ، ورقى Foliate ، صفحى Laminate أو شيستوزى Schistose . وهذا النسيج مميز للصخور المتحولة ، وتوجد فيه بلورات المعدن الواحد مرتبة فى صفوف أو صفائح متوازية قد تكون متصلة أو متقطعة ومتبادلة مع صفائح بلورات المعادن الأخرى . أما بالنسبة للمعادن الجديدة التى قد تتكون نتيجة التحول الإقليمى فهى قليلة وليست مميزة ومنها : معدن سيريسيت (ميكا ثانوية التكوين) Sericite ، كلوريت (سيليكات لو ، ح ، ما + ماء) ، وكذلك معادن أخـــرى تحتاج إلى حرارة عالية بجانب الضغط المرتفع مثل كيانيت (لو$_2$ س أ$_5$) Kyanite وسيليمانيت ومعادن الجارنت . وأهم الصخور المتحولة بالضغط والحرارة هى

١) صخور متحولة عن أصل رسوبى :

الإردواز Slate - صخر متحول عن صخور الطفل نتيجة ضغط مرتفع

وحرارة منخفضة نسبياً ، ويتميز بخاصية التفسخ الصخري حيث يمكن فصله إلى ألواح رقيقة (شكل ٤٦) تتكون من حبيبات دقيقة من مواد طينية شديدة التماسك فيما بينها . ويختلف لون الإردواز من الأسود أو الرمادي إلى الأحمر أو الأخضر نتيجة وجود شوائب كربونية أو حديدية أو بعض المعادن الخضراء مثل الكلوريت. ويعتبر الإردواز نتيجة أولى مراحل التحول الضغطي، فإذا زاد الضغط وارتفعت درجة الحرارة فقد يتحول الإردواز إلى صخر شيستي (ميكاشيست Mica-schist) حيث تترتب بلورات المعادن المكونة له في صفائح رقيقة جداً فيظهر الصخر في هيئة شيستوزية .

٢) صخور متحولة عن أصل ناري أو رسوبي :

نيس Gneiss : صخر متحول إما عن أصل ناري ويسمى أورثونيس Orthogneiss أو عن أصل [illegible] Paragneiss [illegible] تتكون من حبيبات كبيرة متبلورة مرئية [illegible] في هيئة شرائط سميكة [illegible] حد ما ، قد تكون متقطعة أي عدسية الشكل Lenticular (شكل ٤٧، ٤٨)، وغالباً ما تتكون من معدن واحد وتترتب متوازية ومتبادلة مع بعضها . ويختلف لون النيس تبعاً للمعادن المكونة له ، ويعرف صخر النيس باسم الصخر الأصلي له مثل:

نيس جرانيتي Granite gneiss : وهو الناشئ عن تحول صخر الجرانيت .

نيس دايوريتي Dioritic gneiss : وهو دايوريت متحول بالضغط الحرارة .

وقد يعرف صخر النيس كذلك باسم المعدن السائد فى تكوينه مثل : نيس ماسكوفيتى Muscovite gneiss ، نيس بايوتيتى Biotite gneiss أو نيس هورنبلندى Hornblende gneiss . ويعتبر صخر النيس نتيجة مرحلة تحول ضغطى حرارى سابقة لمرحلة تكوين صخور الشيست .

شيست Schist : صخر متحول يتكون من صفائح رقيقة متشابهة فى تركيبها المعدنى ، ومتصلة (شكل ٤٩ ، ٥٠) أى غير متقطعة كما فى صخر النيس . وتتكون هذه الصفائح غالبا من معادن قشرية Flaky minerals مثل الميكا والكلوريت والتالك ، أو أليافية مثل هورنبلند . وتترتب الصفائح متوازية وتحصر بينها حبيبات دقيقة متبلورة من المعادن الأخرى مثل الكوارتز الذى يعتبر كمعدن أساسى ، بجانب بعض المعادن الإضافية مثل جارنت ، سيليمانيت ، شتوروليت ... الخ . وينتج عن هذا الترتيب الصفائحى النسيج الشيستورى المميز لصخور الشيست . ويسمى صخر الشيست حسب التركيب المعدنى للصفائح المكونة له مثل :

ميكاشيست : بايوتيت شيست Biotite schist ويتكون أساسا من معدن البايوتيت فى صفائح والكوارتز بينها فى حبيبات متبلورة دقيقة . ماسكوفيت شيست Muscovite schist سيريسيت شيست Cericite schist . وإذا وجدت المعادن الإضافية بنسبة كبيرة فى الشيست الميكانى فقد يسمى كذلك باسم هذا المعدن مثل جارنت ـ بايوتيت شيست Garnet-biotite schist أو شتوروليت ـ ميكاشيست Staurolite-mica schist الخ .

تالك شيست Talc schist : صخر متحول رمادي مخضر إلى أخضر مصفر ذو ملمس دهني أو صابوني يتكون أساسا من قشور معدن التالك التي تكون الصفائح وأحيانا تحتوي هذه على قليل من الكلوريت والميكا . هذا بجانب معدن الكوارتز الذي يكون الحبيبات الدقيقة في الرقائق المتبادلة مع صفائح التالك .

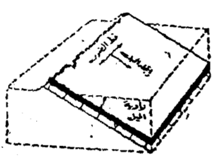
هورنبلند شيست Hornblende schist : ويتكون أساسا من معدن الهورنبلند مع معادن إضافية مثل الكلوريت والميكا وأحيانا بعض البلاجيوكلاز ومن هذا النوع أكتينوليت شيست Actinolite schist وتريموليت شيست Tremolite schist .

الباب الرابع

البنيات (التراكيب) الجيولوجية

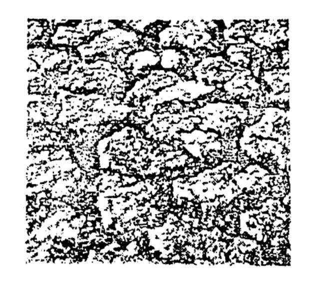
(بقسلم الشناوى)

من المعروف أن الصخور الرسوبية تتكون فى بادىء الأمر فى هيئة طبقات أفقية متعاقبة نتيجة ترسيب الفتات الصخرى تحت مستوى سطح الماء فى أحواض الترسيب ، ثم تصلدها أى تدمجها . ولكن كثيراً ما تتواجد مثل هذه الصخور فوق مستوى سطح الماء فى أوضاع مختلفة منها ، الطبقات المائلة inclined (شكل ٥١) ، أو تشكيلات هندسية معجعدة أو منثنية أى طبقات مطوية Folded (أشكال ٥٨ – ٦٨) ، أو متصدعة أى متفلقة Faulted ، (أشكال ٦٩ – ٧٧) أو بها آثار كسور فاصلية أى متفصلة Jointed . فكيف حدثت هذه التشكيلات الهندسية ، وما أسباب حدوثها ؟ من البديهى أنه قبل إجابة التساؤل على

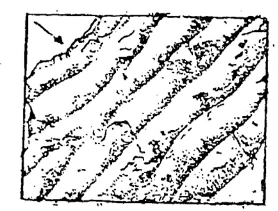


شكل ٥١) يبين خط امتداد (مضرب) طبقة مائلة

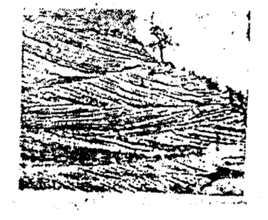
كيف ولماذا لابد من التعرف أولا على ماهية هذه التشكيلات الهندسية البنائية للقشرة الأرضية ، أى البنيات الجيولوجية أو التراكيب الجيولوجية Geologic structures . ويمكن التعرف على نوعين أساسين من هذه البنيات ·



(شكل ٥٢) صورة تبين التشققات الطينية فى وادى النيـــل



(شكل ٥٣) صورة تبين علامات النيم (التموج) فى الحجر الرملى النـــوبى



(شكل ٥٤) صورة تبين التطابق المتقاطع فى الحجر الرملى النـــوبى (الواحات الخارجه)

أولا ـ البنيات الأولية Primary structures : وهى التى تتكون فى الصخور الحاوية لها نتيجة تأثير الظروف البيئية السائدة أثناء عملية ترسيبها وتصلدها ، مثل : التشققات الطينية (شكل ٥٢) علامات التموج أو النسيم Ripple marks (شكل ٥٣) ، التطابق الكاذب ، التيارى أو المتقاطع False, current or cross bedding (شكل ٥٤) ، وكذلك الفواصل العمدانية Columnar jointing (شكل ٣٤) ، التى تتكون أثناء عملية تبريد الحمم (لافا) وتصلده ، والتركيب الإنسيابى Flow structure (شكل ٣٦)، الناشىء من ترتيب المعادن ـ وخاصة النوع الإبرى أو العمدانى وكذلك الصفائحى ـ فى إتجاه سريان أو إنسياب الحمم على سطح الأرض أثناء تبريده وتصلده ، وأمثلة أخرى عديدة سيأتى الحديث عنها فى فصل لاحق .

ثانياً ـ البنيات الثانوية Secondary structures : وهى تلك التراكيب التى تتكون فى الصخور فى وقت لاحق بعد إتمام عملية ترسيبها وتدمجها ، وتنتج تحت تأثير قوة حركية فعالة قد تؤدى إلى ثنى الصخور وتجعدها أى طيها ، أو تؤدى إلى تصدعها أى تفلقها ، أو إصابتها بالفوصل . وفيما يلى وصف موجز لبعض التراكيب الثانوية الهامة ، أما وصف التراكيب الأولية فقد خصص له مكان آخر مناسب .

عدم التوافق

سبق القول بأن الصخور الرسوبية تتكون فى بادىء أمرها فى هيئة طبقات متعاقبة ، عادة ما تكون أفقية ومتوازية ، الحديث منها فوق الأقدم عمراً . ويتم ذلك نتيجة الترسيب المستمر المنتظم ، فتوصف الطبقات فى هذه الحالة بأنها متوافقة Conformable ولكن أحياناً قد يقطع [illegible] الترسيب [illegible]

أو يتوقف لفترة من الزمن لسبب أو آخر مما يؤدى إلى ضياع أو إفتقاد جزء من التتابع الطبقى المتعاقب بما يحتويه من سجل جيولوجى ، فتوصف الطبقات حينئذ بأنها غير متوافقة Unconformable . وعلى ذلك يمكن تعريف عدم التوافق Unconformity بأنه وجود سطح فاصل ناتج عن تأثير عوامل التعرية أو عن إنقطاع الترسيب ، بين مجموعتين من الطبقات ، وبمعنى آخر هو سطح تحات Erosion surface ، يمثل فترة زمنية نشطت فيها عملية التعرية والتحات وتناقصت أو إنعدمت فيها عملية الترسيب . ويتميز سطح التحات فى أحيان كثيرة بوجود راق أى طبقة رقيقة من صخر الكونجلومرات ، يسمى الكونجلومرات القاعدى Basal conglomerate ، حيث يكون قاعدة المجموعة الصخرية التى تعلو سطح التحات .

تتم ظاهرة عدم التوافق تحت تأثير عوامل مختلفة وفى مراحل متوالية ، وعلى ذلك فهى ليست من البنيات الثانوية بالمعنى الصحيح وليست كذلك من نوع البنيات الأولية ولكنها تتم نتيجة إشتراك عوامل مختلفة وعلى مراحل متوالية كما يلى ، على سبيل المثال :

(شكل ٥٥) قطاع يبين تكوين سطح تحات س س فى تعاقب طبقى مطوى.



(شكل ٥٦) قطاع يبين عدم التوافق بين مجموعتين من الطبقات على جانبى سطح التحات س س.

١) يتم ترسيب مجموعة صخرية من طبقات متعاقبة ومتوافقة .

٢) تتعرض هذه المجموعة الصخرية لحركة أرضية قد تكون جانبية كابسة تؤدى إلى تجعدها وطيها ، أو لحركة رأسية فترفعها عن مستوى سطح الترسيب، وفى كلتا الحالتين تتعرض هذه المجموعة الصخرية لتأثير عوامل التعرية.

٣) يتآكل السطح العلوى لهذه المجموعة الصخرية ويتعرى مما يؤدى إلى تكوين سطح تحات (س ص فى شكل ٥٥) .

٤) قد تؤدى حركة أرضية أخرى لاحقة إلى هبوط هذه المجموعة الصخرية إلى ما تحت سطح البحر فتصبح قاعا لحوض ترسيب جديد يتم فيه تكوين مجموعة أخرى من طبقات متعاقبة متوافقة فيما بينها فوق سطح التحات . وغالباً ما تبدأ دورة الترسيب الجديدة بالكونجلومرات القاعدى (شكل ٥٦) .

ويمكن التعرف على أربعة أنواع من عدم التوافق (شكل ٥٧) .

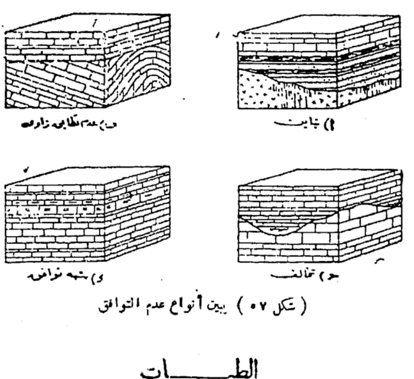
ا - تباين Nonconformity : حيث ترتكز صخور رسوبية طبقية فوق صخور غير طبقية قد تكون نارية أو متحولة .

ب) عدم تطابق زاوى Angular discordance : حيث يفصل سطح التحات (التعرية) بين وحدتين من صخور طبقية مختلفتين فى وضعهما من حيث إتجاه ومقدار الميل .

ح) تخالف Disconformity : حيث يوجد وحدتين متوازيتين من صخور طبقية يفصل بينهما سطح تحات غير مستو ذو تضاريس واضحة .

د) شبه توافق Paraconformity حيث تكون الطبقات كلها متوازية

وسطح الإنفصال ـ أو الإتصال الظاهرى ـ بين الوحدتين ليس إلا مستوى سطح تطبق. وهذا السطح الفاصل بين الوحدتين يمثل ثغرة زمنية معينة توقفت أثناءها عمليات الترسيب وانقطع التتابع الطبقى، وفى هذه الحالة يصعب التعرف على السطح الفاصل بين الوحدتين وخاصة عندما تكون الحفريات نادرة أو غير موجودة.



(شكل ٥٧) يبين أنواع عدم التوافق

الطيـــــات

تتعرض صخور القشرة الأرضية لتأثير قوى حركية كثيرة مختلفة النوع والإتجاه والمصدر والشدة. فقد تكون القوة كابسة Compression أو شادة Tension أو إزدواجية Couple. أما إتجاه فعلها فقد يكون جانبيا أو رأسياً، وموازيا، مائلا أو عمودياً على سطوح تطبق الصخور. أما مصدرها وشدتها فيتوقف على حالة وطبيعة جوف الأرض

والقشرة الأرضية ، وهناك آراء ونظريات مختلفة تفسر مصدر هذه القوى ويضيق المجال هنا على الخوض فيها .

تنفعل صخور القشرة الأرضية تحت تأثير جهود هذه القوى فتتشوه وتتخذ أشكالا أي بنيات (تراكيب) مختلفة . ويتوقف التشوه ، وبالتالي نوع البنية ، على مدى إنفعال Strain الصخور تحت تأثير جهد Stress قوة ما . ويتوقف إنفعال صخر ما على خواصه الطبيعية وعلى الظروف التي يتواجد فيها مثل : الحرارة والضغط ـ وهذان العاملان مرتبطان بالعمق الذي تتواجد فيه الصخور من سطح الأرض ـ ، ووجود المحاليل في المسافات البينية لمكونات الصخر وكذلك الزمن أي طول مدة الإنفعال . بعض الصخور هشة أو قصمة Brittle قابل للكسر والقصم والبعض الآخر لين أو مرن أي طيع Ductile قابل للانسياب تحت تأثير جهد قوة ما . وأحيانا تتواجد صخور هشة تحت ظروف معينة تكسبها حالة اللين أو المرونة فتنفعل كما لو كانت قابلة للانسياب كما هو الحال في الأعماق البعيدة من سطح الأرض حيث ترتفع درجة الحرارة والضغط . وعلى ذلك نجد أن الصخور التي تتواجد على أعماق بعيدة من سطح الأرض ـ على أبعاد قد تصل إلى مئات الكيلو مترات ـ تنفعل كما لو كانت لدنة Plastic فتنساب تحت تأثير جهد القوى الفعالة مكونة تجعدات أوثنيات أي طيات Folds . ويطلق لفظ نطاق الإنسياب Zone of flow على تلك المنطقة البعيدة عن سطح الأرض التي تسود فيها الظروف الطبيعية المناسبة لتكوين البنيات (التراكيب) التي تتميز بوجود الطيات Folds . أما تلك الصخور التي تتواجد بالقرب من سطح الأرض ـ تحت ظروف تكاد تكون عادية من حرارة وضغط ـ فإنها تنفعل كما لو كانت هشة فتتكسر وتتصدع في تلك المناطق التي تسمى نطاق التكسير Zone of fracture حيث

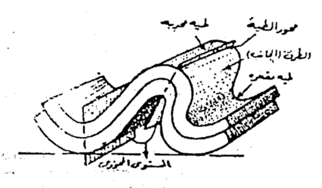
تسود التراكيب التي تتميز بوجود الفوالق Faults والفواصل Joints . وبديهي أن الطبيعة لا تعرف مثل هذه الحدود النظرية الفاصلة بين كلا النطاقين ، فالطيات غالباً ما تكون مصحوبة بفوالق وفواصل .

الطيات وأنواعها

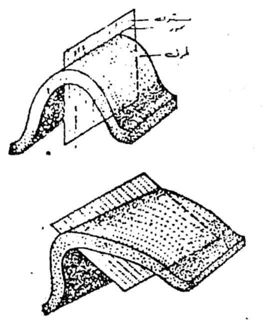
الطية هي تجعد أو إنثناء أو تموج يصيب صخور القشرة الأرضية وخاصة النوع الرسوبي منها . وقد تكون الطية بسيطة Sinple fold أي ثنية واحدة ولكن غالباً ما تكون مركبة Composite fold مكونة من عدة ثنيات متصلة . وتوصف الطية البسيطة حسب شكلها كما يلي :

ا ـ طية محدبة Anticline (شكل ٥٨) : ذات طبقات منثنية إلى أعلى ويسمى أعلى نقطة أو جزء من هذه الثنية هامة .

ب ـ طيـة مقعرة Syncline : ذات طبقات منثنية إلى أسفل ويسمى أسفل جزء منها قعر Trough . أما تلك الأجزاء من الطبقات التي تكون جانبي الطية سواء المحدبة أو المقعرة فتسمى جناحين Flanks أو طرفين Limbs . ويسمى المستوى الذي ينصف الزاوية بين الطرفين المستوى المحوري Axial plane ،



(شكل ٥٨) يوضح الطية وأجزاؤها



والخط الناتج من تقاطع هذا المستوى مع سطح طبقة ما فى الطية يسمى محور الطية Fold axis (شكل ٥٨).

وتوصف الطية حسب مقدار ميل طرفيها ووضع مستواها المحوري كما يلى :

(شكل ٥٩) طية محدبة متماثلة وأخرى غير متماثلة

١) طية متماثلة Symmetrical fold : ذات طرفين مائلين بمقدار متساو فى إتجاهين متضادين على جانبي المستوى المحوري الذي يكون فى وضع رأسي (شكل ٥٩).

٢) طية غير متماثلة Asymmetrical fold : إذا اختلف مقدار ميل الطرفين فى الإتجاهين المتضادين على جانبي المستوى المحوري الذى يتخذ وضعاً مائلا عن الوضع الرأسي (شكل ٥٩) .

٣) طية متماوية أو متشابهة Isoclinal fold : ذات طرفين يميلان فى إتجاه واحد وبمقدار ميل متساو على جانبي المستوى المحوري الذى قد يكون رأسيا ، مائلا أو أفقيا ، (شكل ٦٠) .

٤) طيــة مقلوبة Overturned fold :

إذا زاد ميل المستوى المحورى للطية عن الوضع الرأسى بدرجة تؤدى إلى قلب الوضع الطبيعى الأصلى للطبقات المكونة للطية بحيث يصبح السطح السفلى أصلا لطبقات الطرف السفلى من الطية فى وضع علوى وتصبح الطبقات الحديثة التكوين تحت الطبقات الأقدم منها، أى مقلوبة الوضع فى الطرف السفلى من الطية. وتنتج الطية المقلوبة إذا مال طرفاها فى إتجاه واحد وزاد ميل مستواها المحورى، وبالتالى طرفيها، عن ٤٥° بالنسبة للوضع الرأسى (شكل ٦١).

(شكل ٦٠) طية مقعرة متساوية

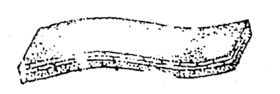


(شكل ٦١) طية محدبة مقلوبة

٥) طية مضطجعة أو نائمة Recumbent fold :

إذا زاد ميل المستوى المحورى عن الوضع المقلوب لدرجة يكاد يصبح فيها أفقيا. وبذلك يميل الطرفان فى إتجاه واحد، وقد يصيرا متوازيين وتكون الطبقات المكونة للطرف العلوى من الطيه فى وضعها الطبيعى من حيث ترتيب تعاقبها أما طبقات الطرف السفلى للطية فتتخذ وضعاً مقلوباً (شكل ٦٢)

(شكل ٦٢ مضطجعة أو نائمة قابلة للتعلق على امتداد خط ف ف



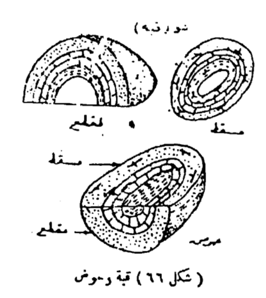
(شكل ٦٣) طية وحيدة الميل

٦) طية وحيدة الميل Monoclinal fold : تميل الطبقات فى إتجاه واحد أى أنها طرف واحد، وعادة ما تكون جزءاً من تركيب كبير تكون فيه الطبقات أفقيـة أو مائلة بزاوية أصغر من زاوية ميل هـــذه الطية (شكل ٦٣) .

٧) طية مائلة المحور أو غاطسة Plunging fold : فى كل الأنـــواع السابقة يمتـــد محور الطية أفقيـاً موازيا لإمتداد الطبقات على جانبى الطية ، أما إذا مال محـور الطية عن الخط الأفقى فى إتجـاه إمتداد طبقاتها فان الطية تغطس أو تغور فى مكان ما تحت سطح الأرض فى هذا الإتجاه وبذلك تصبح مقفولة حيثما يتقاطع خط إمتداد طبقات الجانبين مع خط إمتداد محور الطيــة . وتسمى الزاوية المحصورة بين محور الطية الغاطسة والخــــط الأفقى زاوية الغطس Plunge angle (شكل ٦٤) .

(شكل ٦٤) طية محدبة غائرة (غاطسة)

٨) القبة أو القبو Dome طية محدبة تميل طبقاتها فى جميع الإتجاهات من نقطة تتوسط قمتها ، وعادة ما يتخذ هذا التركيب شكلا دائريا أو بيضاويا (شكل ٦٥) .



(شكل ٦٦) قبة وحوض

٩) الحوض أو القصعة

Basin : طية مقعرة تميل طبقاتها من جميع الإتجاهات نحو نقطة تتوسط قعرها (شكل ٦٥) .

الطيات المركبة : تتكون من عدة ثنيات محدبة ومقعرة متوالية وهي إما تحدب مركب Anticlinorium وهو تحدب كبير ذو إمتداد عظيم يتكون من عدد كبير من طيات صغرى محدبة تتبادل معها طيات صغرى مقعرة (شكل ٦٦) ، أو تقعر مركب Synclinorium وهو تقعر كبير ذو إمتداد عظيم مكون من مجموعة طيات صغرى محدبة ومقعرة متوالية (شكل ٦٦) .

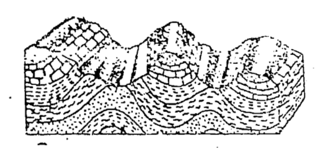
أ) تحدب مركب

ب) تقعر مركب

(شكل ٦٦) طيات مركبة

تواجد الطيات في الطبيعة

قد يتصور الإنسان أن الطيات تتواجد في الطبيعة في صورة مثالية واضحة محددة المعالم تنطبق عليها جميع المواصفات النموذجية المميزة لها حسب الأوصاف السابقة ، ولكن الحقيقة ليست كذلك ، فغالبا ما تتواجد البنيات الجيولوجية ،



(شكل ٦٧) يبين العلاقة بين الطيات وتكوين المرتفعات الطوبوغرافية

ومنها الطيات ، غير كاملة بل متآكلة فى بعض أجزائها نتيجة تأثير عوامل التعرية على طول الزمن الجيولوجى ، فتظهر بصورة أخرى مشوهة أو معقدة تحتاج إلى دراسة اضافية للتعرف على نوعها وأصلها . وكذلك قد يتصور أن الطيات المحدبة هى الأساس فى تكوين المرتفعات الطوبوغرافية ، وقد يكون ذلك التصور صحيحا فى بعض الحالات وخاصة فى حالة بداية تكوين الطية ، ولكن تأثير عوامل التعرية المختلفة قد تقلب هذه الصورة تماما ، فالطيات المحدبة تتكون من طبقات صخرية مجهدة غالبا ماتنتابها الكسور كالفواصل والفوالق الصغيرة نتيجة تأثير قوة الشد التى كانت سببا فى نشأة هذا التحدب ، وهذا مما يسهل بل يساعد عوامل التعرية على سرعة تفتيتها وتآكلها ، فى حين أن صخور الطية المقعرة التى تنشأ أصلا تحت تأثير قوة كابسة تكون متماسكة متدمجة وبذلك تصبح أشد مقاومة لعوامل التعرية . فلا غرابة إذن أن تكون الطيات المقعرة جزءا من المرتفعات الطوبوغرافية بينما تتخذ الأنهار والوديان اتجاهها فى امتداد الطيات المحدبة (شكل ٦٧) .

الفوالق (الصدوع)

الفالق أو الصدع هو كسر فى مجموعة من الصخور يصحبه تحرك نسبى أو انزلاق أو ازاحة أحد الكتلتين الناتجتين عن الكسر أو كليهما . وتحدث

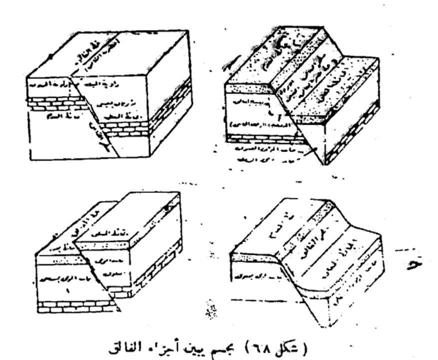
هذه الحركة النسبية موازية لسطح الكسر الذى يسمى مستوى أو سطح الفالق Fault plane or ... . يختلف امتداد سطح الفالق ، فبعضها يمتد إلى بضعة أمتار بينما يصل امتداد البعض الآخر إلى بضعة أو مئات الكيلومترات . كذلك يتفاوت مقدار الحركة أو الانزلاق على سطح الفالق بين بضعة سنتيمترات ومئات الأمتار. وأحيانا يكون سطح الفالق كسر واحد كبير واضح المعالم وأحيانا أخرى تحدث حركة الانزلاق على سطوح كسور عديدة متقاربة ومتداخلة فيما بينها فتكون مايسمى نطاق الفالق Fault zone الذى يتفاوت اتساعه بين جزء من المتر ومئات الأمتار . أما التحرك النسبى للكتل المتصدعة فقد يكون فجائيا على فترة واحدة أو متكررا على فترات متلاحقة ، أو قد يكون بطيئا يستغرق أزمانا طويلة . وفيما يلى تعريف بعض المصطلحات الوصفية للفوالق :

سطح الفالق Fault surface :سطح الكسر الذى تحدث عليه حركة انزلاق الكتلتين المتفلقتين (شكل ٦٨) .

ميل الفالق Fault dip : مقدار زاوية ميل سطح الفالق عن المستوى الأفقى .

مهوى الفالق Fault hade : مقدار زاوية ميل سطح الفالق عن المستوى الرأسى .

مضرب الفالق Fault strike : اتجاه الخط الناتج من تقاطع المستوى الأفقى مع سطح الفالق .



(شكل ٦٨) مجسم يبين أجزاء الفالق

الانزلاق الحقيقى True slip : مقدار الحركة أو الانزلاق الفعلى لأحد الكتلتين المتفلقتين أو كليهما على سطح الفالق .

الحائط المعلق Hanging wall : الكتلة المتفلقة التى تقع مباشرة فوق سطح الفالق المائل .

حائط القدم Foot wall أو الحائط الاسفل : الكتلة المتفلقة التي تقع تحت سطح الفالق المائل

رمية الفالق Throw of fault : المقدار الرأسى لحركة أو انزلاق أحد الكتلتين على سطح الفالق ، وبمعنى آخر هو مقدار التغير الرأسى فى منسوب الكتلتين المتفلقتين على جانبي سطح الفالق ، وتقاس رمية الفالق عموديا على اتجاه متداد الطبقات المتفلقة (شكل ٦٨ ـ ا)

الدفعة أو الزحف الجانبي Heave or lateral shift : مقـدار الانتقال الأفقى لأحد الكتلتين المتفلقتين ، وتقاس عموديا على اتجاه مضرب الفالق . وتتوقف الدفعة على درجة ميل الفالق فيزداد مقدارها بازدياد ميل سطح الفالق وبالتالى تنعدم الدفعة أى الزحف الجانبى إذا كان سطح الفالق رأسيا .

جانب المرمى السفلى Downthrow side : هو الجانب الذى ترتمى فيـه أى تهبـط أحد الكتلتين المتفلقتين إلى أسفـل بالنسبة للكتلة الأخـرى (شكل ٦٨)

جانب المرمى العلوى Upthrow side : هو الجانب الذى ترتفع فيه أحد الكتلتين المتفلقتين بالنسبة للأخرى .

أنواع الفـوالق

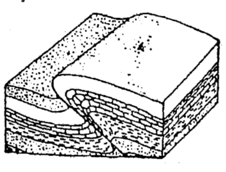
الفوالق أنواع كثيرة ، ويمكن تمييزها وتصنيفها حسب نوع القوة المسببة لهـا ، ومقدار ميل الفالق ، واتجاه الحركة النسبية للكتل المتفلقة ، وعلاقة مضرب الفالق باتجاه أو مضرب الطبقات المتفلقة ، وكذلك على طريقة تواجدها فى الطبيعة من حيث وجـودها مفردة أى فوالق بسيطة Simple faults أو متجمعة فى ترتيب مميـز ، أى فوالق مركبة Compound faults . وفيما يلى وصف موجز مبسط لبعض أنواع الفوالق :

أولا ـ الفوالق البسيطة · يمكن تمييز نوعين رئيسيين من الفوالق البسيطة حسب اتجاه الحركة النسبية لحائطى الفالق على سطحه : النـوع الأول منها تكون فيه الحركة النسبية للكتل المتفلقة فى اتجـاه ميل الفالق ، ويشمل هذا

النوع الفالق العادى Normal fault والفالق المعكوس Reverse fault . أما النوع الثانى فتكون فيه الحركة النسبية للكتل المتفلقة فى اتجاه موازٍ لمضرب الفالق ولذلك يسمى فالق تزيح المضرب Strike slip fault .

١ — الفالق العادى : يتميز هذا الفالق بأن حائطه المعلق يقع فى مستوى منخفض بالنسبة لحائطه القدمى . إى أن الحائط المعلق قد انزلق ظاهريا إلى أسفل بالنسبة لحائطه القدم فى اتجاه ميل سطح الفالق . وأحيانا يسمى هذا النوع فالق جاذبية Gravity fault حيث أن الحركة الظاهرية للكتلة الهابطة فى اتجاه جاذبية الارض . ويسمى هذا النوع أيضا فالق شد Tonsion fault لأنه قد ينتج عن قوة شد تؤدى إلى زيادة الإمتداد الجانبى للطبقات المتفلقة .

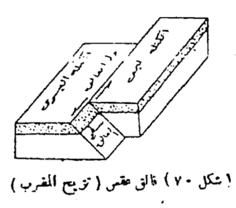
٢ — الفالق المعكوس (أحيانا يسمى فالق دسر Thrust fault) : ويكون حائطه المعلق فى مستوى أعلى من حائطه القدمى بمعنى أن الحركة الظاهرية للحائط المعلق إلى أعلى بالنسبة للحائط القدمى فى عكس اتجاه ميل سطح الفالق . وأحيانا يسمى هذا النوع فالق كبس Compression fault حيث أنه ينشأ عن قوة كابسه تؤدى إلى تقصير الامتداد الجانبى للطبقات المتفلقة (شكل ٦٨ ، ٦٩) .



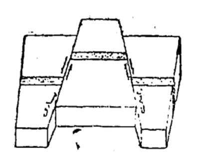
(شكل ٦٦) مجسم فالق دسر

٣ — فالق تزيح المضرب (وأحيانا يسمى فالق المقص Wrench fault): غالبا مايكون سطح الفالق فى هذا النوع فى وضع يكاد يكون رأسياً ولذلك لا يمكن

هنا تمييز حائط معلق أو حائط قدمى. وتكون الحركة النسبية للكتل المتفلقة فى اتجاه أفقى تقريبا مواز لمضرب الفالق. ويوصف فالق تزيح المضرب بأنه يسارى Sinistral or left-handed إذا لاحظ الناظر على طول امتداد خط الفالق بأن الكتلة المتفلقة التى تقع على يساره تبدو كما لو كانت قد تحركت ظاهريا نحوه وأن الكتلة التى تقع على يمينه قد تحركت بعيدا عنه، أما إذا كانت الحركة الظاهرية للكتلتين المتفلقتين تبدو عكس ذلك فإن الفالق يوصف بأنه يمينى Dextral or right-handed (شكل ٧٠، ٧١).



(شكل ٧٠) فالق مقص (تزيح المضرب)



(شكل ٧١) مجسم لفالق تزيح مضرب أحدهما يمينى والآخر يسارى

ثانياً — الفوالق المركبة: وهى التى تتواجد فى مجموعات منها:

١ — فوالق درجية Step faults: مجموعة فوالق متوازية المضرب وغالبا ما تكون رمياتها فى اتجاه واحد فتبدو كما لو كانت درج سلم (شكل ٧٢).

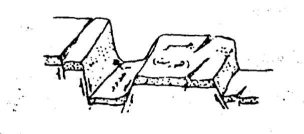
٢ — فوالق حوضية أو فوالق خسف أو أخدود Trough faults or graben:

عبارة عن كتلة فالقية Fault block يزيد طولها كثيرا عن عرضها انخسفت بين كتلتين جانبيتين نتيجة حدوث فالقين عاديين يحدانها من الجانبين (شكل ٧٣) ، مثل أخدود البحر الأحمر Red sea graben الذى يكون جزءا من الأخدود الأفريقى العظيم African great graben الذى أدى إلى تكوين بحيرات شرق أفريقيا والبحر الأحمر والبحر الميت .

٣ — فوالق جسرية أو هورست Horst : عبارة عن كتلة فالقية اندفعت أو ارتفعت إلى مستوى أعلى من كتلتين جانبيتين نتيجة حدوث فالقين عاديين يحدانها من الجانبين (شكل ٧٣) وغالبا ما تكون الأخاديد مصحوبة بفوالق جسرية صغيرة نسبيا منتشرة على قاع الأخدود أو على جانبيه .



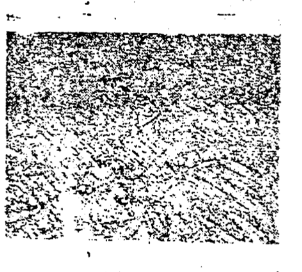
(شكل ٧٢) يمثل فوالق درجية



(شكل ٧٣) يمثل الاخدود والفوالق الجسرية او الهورست

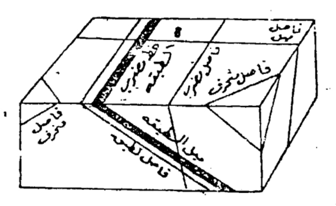
الفواصل

الفواصل هى مستويات كسور أو شقوق أو شروخ تتكون فى الصخور المشة دون حدوث أى حركة أو انزلاق للكتل المنفصلة على سطوح التفصل (شكل ٧٤) . وتظهر الفواصل عادة فى الصخور السطحية أو القريبة من السطح أى فى نطاق التكسير . ويوصف الفاصل ـ تماما مثل الفالق ـ بتحديد إتجاه مضرب سطحه ومقدار واتجاه ميله . وغالبا ما تكون سطوح الفواصل مستوية وتتخذ وضعا رأسياً أو مائلا . وتتراوح الفواصل فى امتدادها واتساعها من شقوق يصعب رؤيتها بالعين المجردة إلى كسور ذات إمتداد كبير واتساع واضح . كما تتراوح المسافة بين الفاصل والآخر من بضعة سنتيمترات إلى بضعة أمتار . وغالبا ما تتواجد الفواصل فى مجموعات مختلفة متقاطعة تتكون كل مجموعة منها من عدة فواصل من نوع واحد أى ذات مضرب وميل واحد . ويمكن تصنيف الفواصل هندسيا حسب اتجاه مضربها بالنسبة للطبقات الحاوية لها كما يلى (شكل ٧٥) :



(شكل ٧٤) صورة تبين طاقمين متعامدين من الفواصل

١ ـ فواصل مضرب Strike joints : ذات مضرب يوازى إتجاه مضرب الطبقات المنفصلة أو إتجاه المستويات الشيستوزية (مستويات ترتيب المعادن الصفائحية المميزة لصخور الشيست والنيس) .



(شكل ٧٥) يمثل أنواع الفواصل بالنسبة للطبقات

٢ – فواصل تطبق Bedding joints : ذات مضرب يوازى مستويات تطبق الصخور المنفصلة .

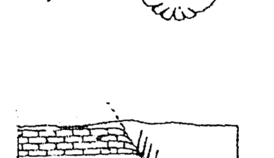
٣ – فواصل ميل Dip joints : ذات مضرب يوازى اتجاه ميل الطبقات المنفصلة .

٤ – فواصل منحرفة أو بينية Diagonal or oblique joints : ذات مضرب فى اتجاه منحرف عن اتجـاه مضرب الطبقات المتصلة واتجاه ميلها .

كذلك يمكن تصنيف الفواصل إلى نوعين على أساس نشأتها ونوع القوى المسببة لها كما يلى

١ – فواصل شد Tension joints : تنشأ بصفة أساسية نتيجـة تأثير مباشر لقوة شد ، ولكن قد يتولد جهد الشد عن فعل قوة كابسة كما يحدث فى السطوح العليا من الطبقات المحدبة والسطوح السفلى فى الطبقات المقعرة أثناء تكونها (شكل ٧٦) . وأحيانا يتولد جهد الشد عن فعل قوة ازدواجية ، ومثال ذلك جهـــد الشد الذى ينتج عن الحركة النسبية لحائطى فالق فى إتجاهين

متضادين على مستوى سطح الفالق مما يؤدى إلى تكوين فواصل شـــد فى الصخور القريبة من سطح أو نطاق الفالق (شكل ٧٧) . كذلك يتولد جهـــد الشد نتيجة إنكماش مواد الحمم (لافا) أثناء عملية تبريدها وتصلدها ومثال ذلك التركيب الأولى الذى يسمـى الفواصـــل العمدانية Columnar joints التى تظهر بوضوح فى صخور البازلت فى هيئة أعمدة رأسية طويلة ذات مقطع غالباً ما يكون سداسى الشكل (شكل ٣٤) .



(شكل ٧٦) يوضح فواصل الشد فى هامة التحدبات وقاع التقعرات .

(شكل ٧٧) يوضح فواصل الشد نتيجة الحركة النسبية للكتل المتقابلة على سطح فالق عادى .

٢ — فواصل كبس Compression joints (وأحيانا تسمى فواصل جز (Shear joints) تتكون هذه الفواصل نتيجة فعل مباشر لقوة كابسة أو قوة ازدواجية . وأحيانا تكون القوة الازدواجية الفعالة غير مباشرة كأن تتولد عن فعل قوة كابسة .

ويصعب على المبتدىء التمييز بين فواصل الشد وفواصل الكبس فى العمل الحقلى ، الا أن هناك بعض القرائن التى تساعد على التعرف على هذين

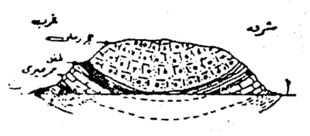
النوعين والتمييز بينهما ، فمثلا تتميز فواصل الشد بأنها تكون فاغرة أى مفتوحة فى بداية نشأتها ولكنها قد تمتلىء فيما بعد ببعض الرواسب الثانوية اللاحقة فتفقد هذه الميزة قيمتها إلى حد ما ، ومع ذلك فوجود مثل هذه الرواسب اللاحقة فى هيئة عروق رقيقة ممتدة فى إتجاهات منتظمة متوازية هى فى حد ذاتها قرينة على وجود فواصل شد . أما فواصل الكبس أو الجز فلا تكون فاغرة فى بداية نشأتها ولكن تأثير عوامل التعرية على مستويات هذه الكسور الضيقة قد يؤدى إلى تفتحها نتيجة التفتيت والتآكل المستمر لسطوح هذه الفواصل فتبدو كما لو كانت فاغرة أصلا ، هذا بالاضافة إلى احتمال امتلائها بعد ذلك برواسب ثانوية لاحقة مما يزيد فى صعوبة التمييز بين النوعين . وهناك قرائن أخرى يجب الاستعانة بها فى مثل الحالات للتمييز بين النوعين ولكن يضيق المجال هنا عن دراستها .

النواحى الاقتصادية للبنيات الجيولوجية

لا تقتصر الدراسات الجيولوجية على النواحى العلمية البحتة بل تتعداها إلى النواحى العملية الاقتصادية فى جميع المجالات المدنية والزراعية والصناعية . فدراسة التراكيب الجيولوجية هامة وأساسية بالنسبة للمهندس المدنى ومهندس المناجم قبل تشييد المبانى الثقيلة وإنشاء الطرق والسكك الحديدية وحفر القنوات وبناء السدود هذا بالإضافة إلى أن جميع العمليات اللازمة للبحث عن الفحم ورواسب الخامات المعدنية الأخرى ، وكذلك البحث عن المياه الجوفية والبترول تحتاج أساساً إلى معرفة التراكيب الجيولوجية التى قد تتواجد بمنطقة البحث . وفيما يلى ، على سبيل المثال وفى إيجاز ، بعض نواحى استخدام التراكيب الجيولوجية فى هذه المجالات المختلفة

المجالات الهندسية : قبل أن يشرع المهندسون فى تشييد المنشآت الضخمة الثقيلة أو إنشاء الطرق وشق الأنفاق لابد من دراسة تمهيدية دقيقة لنوع الصخور وخواصها وتراكيبها فى منطقة العمل ، إذ أن هذه الدراسة أساسية فى تقدير تكاليف المشروع . فالمعروف أن الصخور المفككة أسهل فى الحفر والإزالة وبالتالى فهى أقل تكلفة فى هذه الناحية من الصخور المتصلدة ، ولكن النوع الأول أقل قدرة عن النوع الثانى على تحمل الجهود الناشئة من ضغط المنشآت الثقيلة . وتتوقف قدرة الصخور المتصلدة على خواصها الطبيعية وكيفية تواجدها فى الطبيعة ، فمثلا الحجر الرملى صلد جامد وقادر ذو مقاومة تآكل عالية بطبيعة تكوينه ، إلا أن وجود مستويات الكسور كالفواصل والشقوق يقلل من قيمه هذه فى الخواص فى اللازمة بعض الأغراض الإنشائية . والمثال التالى يوضح أهمية دراسة التراكيب الجيولوجية فى أعمال الإنشاءات الهندسية .

ليس من الحكمة الشروع فى شق نفق مثلا قبل التأكد مسبقا من نوع التراكيب الجيولوجية التى قد تتواجد بالمنطقة . يمثل شكل (٧٨) التركيب الجيولوجى لمنطقة يلزم شق نفق فيها من الشرق إلى الغرب وبعد التعرف على نوع الصخور الظاهرة بالمنطقة أمكن إفتراض مسار النفق على إمتداد الخط « ا ب » وذلك إعتمادا على أن الصخور التى سيخترقها النفق من النوع الصلد القادر (حجر جيرى فى هذا المثال) الذى لا يحتاج إلى إنشاء دعامات إضافية (خرسانة) أو تبطين النفق بما يكفل الأمان عند استخدامه . وقدرت تكاليف المشروع على هذا الأساس دون النظر إلى التركيب الجيولوجى المنطقة . ولكن الدراسة التفصيلية الدقيقة للتركيب الجيولوجى بالمنطقة



(شكل ٧٨) يمثل امتداد نفق خلال طية مقعرة

أوضحت أن خط النفق الذى سبق تحديده سوف يمتد مسافة قصيرة خلال تلك الصخور الصلدة القادرة ثم يخترق بعد ذلك صخور طبقة الطفل ، وهذا الصخر بطبيعته من النوع اللين الطيع الذى يحتاج إلى إنشاءات إضافية باهظة التكاليف لتدعيمه حتى لا ينهار أثناء وبعد الحفر . هذا بالإضافة إلى أن الحجر الرملى الذى يعلو طبقة الطفل المكونة لقبو النفق من النوع المسامى المنفذ للماء ، وذلك يؤدى طبعا إلى أن تتشرب صخور الطفل الماء الذى قد يتجمع فى الحجر الرملى مما يوهن من عزم صخور الطفل فتزيد الأمر تعقيدا بخلق صعوبات بل كوارث لم تكن فى الحسبان من حيث تكاليف المشروع وسلامة إستخدام النفق .

<u>المجالات الزراعية</u> : أهم المشروعات الزراعية هى حفر القنوات وبناء الخزانات والسدود والبحث عن المياه الجوفية . لا شك أن مستويات الكسور كالفوالق وخاصة الفواصل من التراكيب الجيولوجية التى تساعد كثيرا فى تسهيل عمليات الحفر ، ومع ذلك فهى من ناحية أخرى أكثر التراكيب الجيولوجية التى قد تسبب أضراراً بالغة وخطيرة بالسدود . فوجود مثل هذه التراكيب فيما وراء السد تؤدى إلى تسرب المياه ، وبالتالى انخفاض مقدارها عن معدل الاستغلال المقرر للسد . أما وجود مثل هذه الكسور تحت قاعدة

السد ذاته فان تسرب المياه خلالها يؤدى إلى احداث ضغط مائى مستمر تحت قاعدة السد فيضعفها مما يؤثر على السد ذاته فيفقد قيمته المقدرة له ، بل قد يسبب تصدعه وانهياره إذا لم تحقن هذه الكسور والشقوق بما يسدها تماما لوقف تسرب المياه تحت قاعدة السد .

تعتبر المياه الجوفية Underground water المصدر الوحيد للماء اللازم لاستزراع الأراضى الصحراوية الجافة . والمياه الجوفية دائمة الحركة فى الصخور الحاوية لها ، ويتحدد اتجاه حركتها وكذلك سرعة سريانها بالتراكيب الجيولوجية التى تمر فيها . وأحد الشروط اللازم توافرها فى الطبقات الحاملة للمياه الجوفية حتى يمكن اعتبارها مستودع ماء جوفى Aquifer مناسب هو تركيب جيولوجى فى هيئة طية مقعرة واسعة ضحلة Shallow broad syncline تحكمه من أعلى وأسفل أو من أعلى على الأقل طبقات غير منفذة (شكل ٧٩) .



(شكل ٧٩) قطاع تخطيطى لمستودع ماء جوفى

ويعتبر تكوين الحجر الرملى النوبى فى مصر واحد من أهم مستودعات المياه الجوفية . والتركيب الجيولوجى لهذا التكوين الرملى وحيد ميل Monocline عظيم الامتداد والسمك تميل فيه الطبقات الحاملة للماء تجاه الشمال (شكل ...) . وبديهى أن التعرف على الخواص والشروط التى يجب

توافرها لتكوين مستودعات المياه الجوفية يسهل الدراسة اللازمة لاختيار أنسب الأماكن لحفر الآبار .

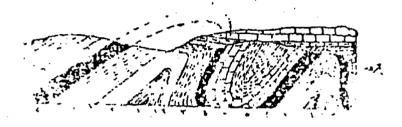
المجالات الصناعية : تهتم الدول المتقدمة بالدراسات والأبحاث الخاصة بالتنقيب والكشف Prospection عن مواردها الطبيعية من الثروات المعدنية كخطوة أولى ولكنها أساسية في تعدين Mining واستغلال هذه الثروات لإقامة الصناعات المختلفة التي تعتبر مقياسا لحضارة الأمم ودرجة رقيها ومدى تطورها . ودراسة العلوم الجيولوجية - ومن بينها الجيولوجيا البنائية (التركيبية) هي حجر الأساس في الكشف عن الثروات المعدنية .

البنيات الجيولوجية والتعدين : تعتبر دراسة التراكيب الجيولوجية في مناطق التعدين أساسية لتحديد أنسب الأماكن للمداخل واتجاه الممرات والأنفاق اللازمة لعمليات التعدين ، وغالبا ما تكون سطوح التطبق واتجاه الفواصل والكسور هي السبيل في تحديد هذه الاتجاهات . بجانب ذلك فإن القصور في دراسة التركيب الجيولوجي لمنطقة التعدين عادة ما يؤدي إلى استنتاجات خاطئه ، أو على الأقل ناقصة ، في تقدير التكاليف والانتاج ومقدار الخام الذي يمكن استغلاله .

يتكون الفحم ورواسب بعض الخامات الهامة الأخرى مثل الفوسفات والحديد (الرسوبي النشأة) تحت نفس الظروف التي تتكون فيها الصخور الرسوبية الحاوية لها . وعلى ذلك فالتراكيب الجيولوجية لمثل هذه الصخور هي أحد العوامل الهامة والمؤثرة مباشرة في توزيع وامتداد مثل هذه الخامات.

ويتوقف على ذلك مدى صحة المعلومات اللازمة لاختيار أنسب طرق الاستغلال وتقدير تكاليف الانتاج وفيما يلى بعض الأمثلة التى توضح ذلك :

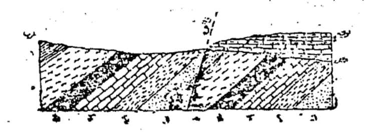
١) يمثل شكل (٨٠) تركيبا جيولوجيا يتكون من طية محدبة وأخرى مقعرة غير متماثلة ، وأحد الطبقات (رقم ٤) فى هـذا التركيب يحتوى على خام يمكن استغلاله . يدأ العمل فى استخـراج الخام من الطرف الغربى للطية المحدبة فى أول الأمر على أساس أنه الـ الاجمالى لما يمكن استغلاله إذ أنه الجزء الظاهر فقط على سطح الأرض فى . قة الاستغلال . أما احتمال امتداد الطبقة الحاوية للخام فى الجزء الشرقى من منطقة الاستغلال فـكان مشكوكا فى أمره إذ أنه لايظهر عـلى سطح الأرض حيث تغطية طبقات أخرى غير متوافقة مع التركيب المطوى . وعلى ذلك استبعد الجزء الشرقى من منطقة الاستغلال عند حساب مقدار الخام الذى يمكن استغلاله وبالتـالى فى تقدير تكاليف الإنتاج . ولكن الدراسة التفصيلية لتعاقب الطبقات وأوضاعها فى وسط المنطقة أثبت أن الطبقات تكرر نفسها فى ترتيب معين ٣ - ٢ — ١ — ٢ — ٣ كما هو مبين بالشكل . وبهذا أمكن استنتاج أن مثل هذا الترتيب فى تعاقب الطبقات المائلة فى هذا الوضع هو قرينة على وجـود طية محدبة غير



(شكل ٨٠) يمثل تعاقب طبقات مطوية تحتوى على طبقة حاملة لخام يمكن استغلاله (طبقة رقم ٤) ظاهرة فى الجزء الغربى فقط من المنطقة ولـكنها فى الجـزء الشرقى من المنطقة مغطاة بطبقات أفقية غير متوافقة مع التعاقب المطوى .

متماثلة تكاد تقرب من النوع المقلوب، وأن طرفها الشرقى قد يكون جزءا أو امتداد لطية أخرى مقعرة فى الجزء الشرقى من منطقة الاستغلال وتحجبها عن سطح الأرض الطبقات غير المتوافقة معها فى هذا الجزء . وعلى هذا الأساس تم تحديد أنسب الأماكن للحفر بحثا عن الطرف الآخر من الطية ثم تتبعها شرقا استعدادا لاستغلال الخام بكامله فى المنطقة . وبديهى أن الإنتاج الكامل للخام يزيد بكثير عما كان مقدرا له فى بداية الأمر ، كذلك فان القيمة المدفوعة كحق استغلال المنطقة كلها كانت أقل بكثير عما يجب بسبب التقصير فى دراسة تراكيب المنطقة قبل منح حق الاستغلال .

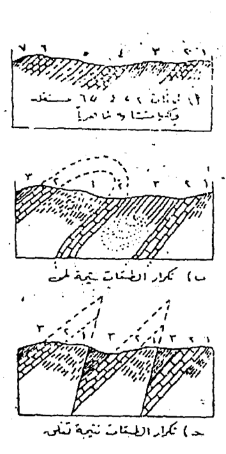
٢) يمثل شكل (٨١) منطقة بها طبقات مائلة تجاه الغرب ويتوسطها فالق غير واضح المعالم . وفى الجانب الغربى من المنطقة تظهر على سطح الأرض طبقة (رقم ٤) حاملة لخام يمكن استغلاله . أما فى الجزء الشرقى من المنطقة فتظهر على سطح الأرض طبقات أخرى أفقية غير متوافقة مع الطبقات المائلة (عدم تطابق زاوى) مما أدى إلى عدم التفكير فى احتمال وجود الطبقة الحاوية



(شكل ٨١) يمثل تعاقب طبقات مائلة أصابها فالق . الطبقة رقم ٤ تحتوى على خام يراد استغلاله . تظهر هذه الطبقة على سطح الارض فى الجزء الغربى فقط من المنطقة وتختفى فى الجزء الشرقى تحت سطح عدم تطابق زاوى (س) . لاحظ ترتيب تكرار الطبقات فى هذا الشكل وقارنه بالتكرار فى الشكل السابق .

للخام فى الجزء الشرقى من المنطقة . وعلى هذا الأساس قدرت كية الخام الذى يمكن استغلاله وكذلك قيمة حق الاستغلال . وبعد دراسة التعاقب الطبقى وترتيب الطبقات وأوضاعها ثبت أن تكرار ظهور الطبقات ـ كما هو مبين بالشكل (٥ ـ ٤ ـ ٣ ـ ٢ ـ ١ /٥ ـ ٤ ـ ٣ ـ ٢ ـ ١) ـ يؤكد وجود ذلك الفالق الذى أدى إلى تكرار طبقة الخام المختفية تحت سطح عدم التوافق . وبذلك زادت كية الخام التى يمكن استغلالها عما كان مقدرا لها فى أول الأمر .

٣) أما شكل (٨٢) فيمثل ثلاث مظاهر ذات صفات صخرية متشابهة وتحتوى على خام يمكن استغلاله . ولكن امتدادها كما هو ظاهر على سطح الأرض لا يبشر ولا يشجع على الإقدام على الاستغلال ، فقد تنتمى هذه المظاهر لثلاث طبقات منفصلة أو قد تكون أجزاء من طبقة واحدة متكررة نتيجة تركيب جيولوجى . وبديهى أن كية الخام فى الحالة الأولى سوف تكون أكبر من الحالة الثانية . ويمكن اكتشاف الحالة الحقيقية عن طريق الحفر وهذا ما يكلف الكثير ، ولكن الدراسة التفصيلية قد تؤدى إلى استنتاج



(شكل ٨٢) يمثل تقاطعات بين ثلاث احتمالات مختلفة لتوضيح التركيب الجيولوجى لمظاهر ثلاث طبقات متشابهة النوع والوضع .

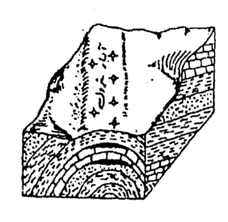
الاحتمالات المختلفة ثم ترجيح صحة احتمال أو آخر . ففي الحالة الأولى لا يوجد تكرار في التعاقب الطبقي (شكل ٨٢ـ أ) . أما في الحالة الثانية فهناك احتمالين : أولهما أن تتكرر الطبقات في ترتيب ١ – ٢ – ٣ / ٢ – ١ – ٢ – ٣/١ وهذا يدل على وجود طيتين متشابهتين أحدهما محدبة والأخرى مقعرة وتميل أطرافها في نفس الاتجاه وبنفس المقدار تقريبا (شكل ٨٢ ب) . أما الاحتمال الثاني فهو تكرار الطبقات في ترتيب ١ — ٢ — ٣/١ — ٢ — ٣/١ — ٢ — ٣ (شكل ٨٢ حـ) مما يدل على أن هذه المظاهر الثلاثة ما هي إلا أجزاء من طبقة واحدة أصابها فالقين من النوع المعكوس يميلان في نفس الاتجاه تقريبا . والفرق واضح بين كل من الاحتمالين الأخيرين فيما يختص بتقدير كمية الخام وبالتالي حساب التكلفة والإنتاج .

مصائد البترول : من المعروف أن المواد البترولية الخام تتكون نتيجة تراكم البقايا العضوية ثم تحللها تحت ظروف مختزلة . وتتجمع هذه المواد الهيدروكربونية على هيئة كريات دقيقة جدا تنتشر داخل الطبقات الرسوبية التي تتكون معاصرة لتراكم هذه البقايا العضوية ، ولذلك تسمى هذه الصخور « الصخر الأم » Mother rock أو « صخر منبع » Source rock . وغالبا ما يكون الصخر المنبع من النوع الذي يتميز بدقة حبيباته وعظم سمك طبقاته . أما عن الطاقة اللازمة لعملية تحلل المواد العضوية التي ينشأ عنها البترول الخام فمن المحتمل أنها تنتج عن الحرارة والضغط في الأعماق البعيدة عن سطح الأرض ، وعن تأثير البكتيريا المختزلة والنشاط الحراري للمواد المشعة التي قد تحتويها الصخور المنبعة .

ومن البديهي أن المواد البترولية تتكون بكميات صغيرة في الصخر المنبع .

فكيف تتجمع إذن فى مخازن بترولية ضخمة ؟ تتعرض الصخور المنبعة لضغط الرواسب التى تعلوها ، وغالبا ماتكون عظيمة السمك ، ويؤدى ذلك إلى كبس الرواسب الطينية وتدمجها فتضطر الكريات الهيدروكربونية إلى الإنسحاب من المسافات البينية لمكونات الصخور المنبعة ثم إلى الهجرة باحثة عن مكان آخر ملائم تأوى اليه . وتسمى هذه العملية الاضطرارية الهجرة الأولية Primary migration . وتسلك المواد البترولية المهاجرة طريقها بما يتوافق وخصائصها الطبيعية . وحيث أنها أقل كثافة من المواد الصخرية التى تتخللها فانها تسلك الطريق الذى يؤدى بها إلى طبقات أعلى من طبقات منبعها ، فتنساب صاعدة حتى تجد نوعا من الصخور المسامية المنفذة حيث تتجمع . وبمجرد تجمع المواد البترولية فى الصخور الخازنة Reservoir rock تبدأ مكوناتها فى الانفصال حسب كثافتها فى ثلاث طبقات : طبقة من المياه تعلوها طبقة المواد البترولية يليها طبقة الغازات ، وتعرف هذه العملية بالهجرة الثانوية Secondary migration .

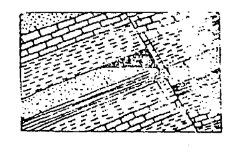
وقد يصادف المواد البترولية أثناء هجرتها الأولية بعض التراكيب الجيولوجية المميزة ، تسمى مصائد البترول Petroleum traps ، والتى يفضل البترول الخام التجمع فيها عن أي مكان آخر . ومن أهم المصائد البترولية التركيبية هى التراكيب القبوية أى القبة Domal structures ، الطيات المحدبة Anticlines



(شكل ٨٣) تحدد مواقع آبار البترول حسب التركيب الجيولوجى للصخور الخازنة

(شكل ٨٣، ٨٤) أحادية الميل Monoclines أو المصيدة الفالقية Fault trap (شكل ٨٥) حيث يعمل مستوى الفالق - وغالبا ما يكون مصقولا - كحاجز يمنع تسرب المواد البترولية إذا ما أدى هذا الفالق إلى إيجاد صخور غير منفذة في مواجهة صخور منفذة حاوية للبترول . ولا يعني وجود هذه التراكيب أنها حتما خازنة للبترول الخام ، فقد تتواجد مثل هذه التراكيب خاوية جدباء ، إلا في حالة اعتراضها طريق الهجرة الأولية للمواد البترولية واحتوائها على طبقات من صخور مسامية منفذة تسمح بتجمع البترول الخام فيها . ومن البديهي أن الصخور الخازنة للبترول لابد وأن تكون مغطاة أو محكمة الإغلاق بواسطة طبقات أخرى غير منفذة تمنع الخام من التسرب إلى الطبقات السطحية حيث يتعرض للمؤثرات الجوية فيفقد الجزء الكبير من مكوناتها .

(شكل ٨٤) قطاع في طية اختراقية (قبو ملحي) يتجمع البترول حولها في الطبقات الخازنة .



(شكل ٨٥) قطاع يمثل مصيدة بترول فالقية .

بعد هذا العرض الوصفي الموجز للبنيات (التراكيب) الجيولوجية وبعض النواحي الاقتصادية لدراستها، قد يتساءل القارىء مستفسرا عن أسباب تكون هذه البنيات وكيفية نشأتها وتتطلب الإجابة على هذه الاستفسارات تفهم

خاصية التوازن الإستاتيكى للقشرة الأرضية Isostasy وما يرتبط بهما من حركات أرضيـة Earth movements ، وبعض النظريات المفسرة لأسباب وميكانيكية هذه الحركات ، ويمكن ايجاز ذلك فيما يلى :

توازن القشرة الارضية

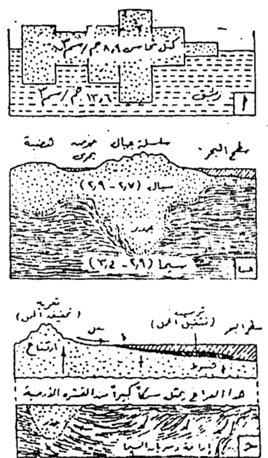
تدل الدراسات الجيولوجية على أن القشرة الأرضية كانت دائما ولا تزال تحت تأثير النشاط الطبيعى والكيمائى للعوامل الجوية المختلفة مثل الرياح والأمطار والسيول والصقيع والجليد وأمواج البحار، فهذه العوامل كلها فى دأب ونشاط مستمر، ويظهر أثرها فى تفتيت صخور القشرة الأرضية بواسطة العوامل الجوية (عملية التجوية Weathering) وكذلك بواسطة الكائنات الحية ، ثم نقل هذه المواد الصخرية المفتتة من مكان وجودها إلى أماكن أخرى بواسطة الرياح والأمطار والثلاجات (عملية النقل Transport) ، كما أن لهذه المواد المفتتة أثناء نقلها أثر فعال فى نحت الصخور المختلفة التى قد تمر بها (عملية النحت أو التحات Erosioh) مثل النحت الرياحى Wind erosion والنحت النهرى River erosion والنحت البحرى Marine erosion ونحت السيول Torrent erosion . ونتيجة كل هذه العمليات مجتمعة هى تعرية أو تغيير هدمى لسطح الارض، ولذلك تسمى التعرية Denudation .

ولو أن عوامل التعرية كانت مستمرة فى عملها دون أن يقابلها ويوازنها أى عمل آخر بناء لكانت قد انمحت الأرض من الوجود ، ولكن الحكمة العادلة أنزلت رسلها لإيجاد حالة توازن دائمة ومن الحكمة أن عوامل الطبيعة الهدامة نفسها هى العوامل البناءة للقشرة الأرضية ولو أن مكان نشاطها

الهدمي يختلف ويبعد عن مكان نشاطها البنائي ، وبذلك أوجدت حالة التوازن اللازمة لاستقرار كوكبنا هذا بل لاستقرار الكون بأكله ، فالعوامل التي تقوم جاهدة بتفتيت الصخور غالباً ما تنقلها أو تساعد في نقلها إلى مكان آخر حيث ترسبها وتبني بها جزءاً أخر تضيفه إلى سطح الأرض مثل ترسيب الطبقات الصخرية في البحار وتكوين الدالات عند مصاب الأنهار والكثبان الرملية في المناطق الصحراوية ، وتعرف كل هذه العمليات مجتمعة عملية البناء أو الترسيب Deposition . كما أن هناك أدلة واضحة تثبت تحرك الطبقات الخارجية للأرض مما يؤدي إلى ارتفاعها لتكون الجبال وما يظهر لنا من القارات ، أو قد تؤدي إلى خسفها تحت مياه المحيطات ، وفي كل من هاتين العمليتين ينحسر البحر عن جزء من سطح الأرض فتظهر أرضاً جديدة أو قد يغمرها ويطغى عليها فتظهر بحار جديدة أو تتخذ البحار القديمة أشكالا وطبوغرافيات جديدة ، كل هـــذا والأرض في حالة متوازنة باستمرار . وسيخصص الباب التالي لعمليات التعرية والترسيب .

وقد أثبتت قياسات الجاذبية بجانب دراسات تفصيلية أخرى إلى استنتاج خاصية من أهم خواص القشرة الأرضية - وهي خاصية التوازن الاستاتيكي Isostasy والتي تعني أن الأعمدة الصخرية ذات القطاعات العرضية المتساوية فوق مستوى معين (مستوى التعادل Level of co npensation ، ويوجد على عمق ما بين ٥٠ ، ١٠٠ كيلومتر تحت سطح البحر) تكون كتلتها واحدة مهما اختلفت أطوالها . ويعزى إلى هذه الخاصية سبب الارتفاع الشاهق للجبال وهي التي تحوي المواد الصخرية الخفيفة الوزن وكذلك انخفاض قيعان المحيطات التي تتكون من مواد صخرية قاعدية التركيب كبيرة الوزن النوعي (شكل ٨٦ — ا ، ب) .

فإذا ما تفتتت هذه الأعمدة الجبلية العالية تحت تأثير عوامل التعرية المختلفة ، تبع ذلك خفة الحمل أو الضغط على الطبقات الصخرية التى تقع تحتها ، وفى نفس الوقت تزداد الحمولة أو الضغط على المناطق الأخرى المجاورة والتى تترسب فيها المواد المفتتة من تلك الأعمدة الجبلية ، والنتيجة الحتمية إذن لعملية التعرية فى مكان والعملية البنائية أو الترسيب فى مكان آخر هو حدوث اختلاف فى الضغط الواقع على الطبقات السفلية لسطح القشرة الأرضية . ويبدأ



(شكل ٨٦) يوضح ظاهرة التوازن الاستاتيكى

توازن هذا الضغط الإختلافى Differential pressure على الأجزاء السفلية للقشرة الأرضية بسريان بطىء للمادة الصخرية اللزجة من طبقة السيما الثقيلة الوزن والتى تقع تحت منطقة الترسيب إلى قاع المنطقة التى حدث فيها التفتيت (شكل ٨٦ حـ) وبذلك تعلو وترتفع وتعيد التوازن من جديد . وتعرف عملية سريان مواد السيما من مكان ازداد فيه الحمل أو الضغط إلى مكان آخر قد خف فيه الضغط عند مستوى معين باسم استعادة التوازن الاستاتيكى Isostatic readiustment

الحركات الأرضية

مرت الكرة الأرضية أثناء مراحل نموها بتحركات مختلفة أدت إلى اختلاف وتغير فى توزيع البحار والأرض اختلافا بينا فى العصور الجيولوجية المختلفة (دراسة الجغرافيا القديمة) . ومن الأدلة التى توضح حدوث حركات أرضية عنيفة أن الصخور الرسوبية الغنية بالحفريات ـ وهى بقايا الحيوانات التى كانت قد عاشت تحت سطح البحر فى وقت من الأوقات ـ توجد فى أعلى قمم الجبال فى العالم مثل الطبقات الرسوبية التى تكون جبال الهملايا والتى ارتفعت من قاع البحر إلى أكثر من ثلاثين ألف قدم . ودليل آخر ، هو وجود كثير من مناجم الفحم على أعماق بعيدة تحت مستوى سطح البحر ، والمعروف أن الفحم يتكون من بقايا نباتية كجذوع الأشجار والأغصان لبعض الغابات التى كانت قد نمت فوق سطح الأرض على مستوى أعلى من سطح البحر .

ومن الأدلة الواضحة على حركات الأرض فى الأزمنة التاريخية القريبة بقايا معبـــد سيرابيس قرب نابولى فى إيطاليا حيث توجد الأعمدة محفورة بحيوانات بحرية من نوع معين (ليثوفاجاس Lithophagus) على ارتفاع ١٨ قدم فوق أرض المعبد ، وتوجد بالحفر بقايا قشور هذه الحيوانات ، وهذا يدل دلالة قاطعة على أن أرض المعبد لابد وأن كانت قد انخفضت وغمرها البحر الذى كانت تعيش فيه هذه الحيوانات ثم ارتفعت الأرض ثانية إلى وضعها الحالى ، وكذلك وجود الشواطىء المرجانية المرفوعة Raised coral beaches فوق مستوى سطح البحر .

وهناك نوعان من الحركات الأرضية . احداهما تسمى بالحركة البانية للقارات Epirogenic movement . هى حركة بطيئة قد تدوم لأزمنة جيولوجية

هديدة ، فى اتجاه رأسى يـؤدى إلى هبوط أو ارتفـاع مساحات شاسعة من القارات يتبعه تقدم البحر Sea transgression ليطغى عـلى الجزء الهابط أو انحسار البحر Sea retrogression عن الجزء الذى ارتفع من سطح اليابسة . وهذ النوع من التحركات الأرضية هو المسئول عن ترتيب وضع المحيطات والقارات فى الأزمنـة الجيولوجية المختلفة ، ويظهر تأثير الحركات البانية للقارات على سطح الأرض فى تكوين المرتفعات والمنخفضات الشاسعة مثل الهضاب والأحواض المائيـة والجبال الكتلية Block mountains أو الوديان القائمة المخسوفة Rift valleys .

والنوع الثانى من الحركات الأرضية هو ما يعرف بالحركات البانية للجبال Orogenic movements . وهذه حركات سريعة خاطفة قصيرة المدى (بالمعنى الجيولوجى وبالنسبة للحركات البانية للقارات) وعنيفة فى تأثيرها . وتنشأ مثل هذه الحركات ، بصفة عامة ، تحت تأثير قوى ضغط جانبية وينتج عنها انثناءات محدبة أو مقعرة فى طبقات القشرة الأرضية ، وما يتبع هذه الثنيات الضغطية من كسور وفوالق أو إنزلاق أطراف الثنيات على مستويات أفقية مما يؤدى إلى تراكم كتل الصخور الرسوبية الطبقية فوق بعضها لتشغل حيزاً ضيقاً بعد أن كانت تغطى مساحات شاسعة ، وترتفع بالتالى فوق مستوى سطح البحر لتكون سلاسل الجبال بعد أن كانت تغطيها مياه البحار . وما من شك فى أن مواد الصهير ، ماجما Magma ، تنشط وقت حدوث مثل هذه الحركات ويبدأ فى الصعود لغزو مناطق الضعف الناتجة من عملية الإنثناء والتهشيم والتكسير ، وقد تجد طريقا لها يؤدى بها إلى الطبقات العليا من القشرة الأرضية حيث يبرد ويتجمد فى هيئة كتل أو صخور نارية متداخلة (متطفلة) أو حتى على سطح الأرض فى هيئة براكين ثائرة تقذف بحممها وغازاتها .

لم تكن هذه الحركات الأرضية مستمرة طول وقت نمو الكرة الارضية، بل كانت هناك فترات هادئة (ظاهريا) تتميز بالبناء حيث كانت تترسب خلالها كميات ضخمة من الصخور الطبقية فى الأحواض المائية ، وتمثل فترات الهدوء الجزء الأكبر من التاريخ الجيولوجى للأرض ، وقد قدرها بعض العلماء بما يعادل ٩/١٠ من تاريخ الأرض ، أما الجزء الصغير ١/١٠ فإنه يمثل الوقت الذى كانت تمر فيه الأرض بحركات ثورية وتطورية عصبية هى الحركات البانية للجبال . وأهم الحركات البانية للجبال التى انتابت الكرة الأرضية هى :—

١) الحركة الكاليدونية Caledonian Movement : أثناء الحقب القديم الأسفل Lower Palaeozoic Era ، فى آخر العصر السيلورى — العصر الديفونى Silurian-Devonian Systems .

٢) الحركة الهرسينية (أبالاشيه) Hercynian(Appalachian) Movement: أثناء الحقب القديم الأعلى Upper Palaeozoic Era، فى وقت العصر الكربونى — البرمى Carboniferous-Permian .

٣) الحركة الألبية Alpine Movement : فى آخر الحقب المتوسط (الثانى) Mesozoic (Secondary) Era وبداية الحقب الحديث (الثالث) Cenozoic (Tertiary) Era .

أما عن النظريات الخاصة بكيفية تكوين الجبال والمفسرة لأسباب وميكانيكية الحركات الثورية للأرض فعديدة ومتشعبة ، ويضيق المجال هنا لدراستها ويمكن تبسيطها وإيجازها فيما يلى :—

١) نظرية الانكماش Contraction Theory : (إيلى دى بومونت Elie de Beaumont فى أوربا ، جيمز دانا James Dana فى أمريكا) وأساس هذه النظرية هو أن الانكماش الناتج عن تبريد الكرة الأرضية سبب حدوث قوتين : إحداهما قوة شد داخلية فى اتجاه مركز الكرة الأرضية والأخرى وليدة الأولى وهى قوة سطحية جانبية ضاغطة فى مكان وشادة فى مكان آخر فى القشرة الأرضية . وقد أدى ذلك إلى أحداث بقلصات وتجعدات فى القشرة الأرضية نتج عنها تكوين أحواض البحار وسلاسل الجبال .

ووجه النقد لهذه النظرية هو أن تبريد الكرة الأرضية لم يكن مستمراً بل كانت هناك دورات جليدية تتخللها فترات دفيئة طول التاريخ الجيولوجى للارض. وهناك وجه اعتراض آخر ، هو الشك فى أن التبريد يؤدى إلى هذا الانكماش الذى ينتج عنه تجعدات فى القشرة الأرضية بدرجة تسمح بتكوين الجبال الشاهقة ، واعتراض ثالث وهو أن التبريد فى حد ذاته مردود عليه حيث أن الحرارة الناشئة من النشاط الإشعاعى والتفاعلات الكيمائية فى باطن الأرض يهدم الافتراض الذى بنيت عليه النظرية .

٢) نظرية التمدد /جولى Joly's Expansion Theory : بنيت هذه النظرية على فكرة تمدد القشرة الأرضية نتيجة للحرارة الناشئة من النشاط الإشعاعى والتفاعلات الكيمائية فى باطن الأرض وما تبع عملية التمدد من حدوث ضغط اختلاقى أدى إلى تكوين تجعدات فى القشرة الأرضية نتج عنها تكوين المرتفعات والمنخفضات ، وهذه النظرية عكس نظرية الانكماش ، ولم تجد رواجاً علمياً .

٣) نظرية تزحزح القارات Continental Drift :. (فيجنر ١٩٢٩ Wegener ، دى توات ١٩٢٧ – ١٩٣٧ Du Toit) نشأت هذه النظرية على أساس ملاحظة الشبه الكبير بين شكل الساحل الغربى للقارة الأفريقية والساحل الشرقى لأمريكا الجنوبية ، وكذلك وجه التشابه والتقارن بين الرواسب البحرية (للعصر الطباشيرى) على كل من جانبى المحيط الأطلسى (شكل ٨٧) وتفترض هذه النظرية أن كل القارات الموجودة حاليا كانت متحدة فى كتلة واحدة كبيرة تسمى بانجيا Pangaea حتى بداية الحقب المتوسط (الثانى) من تاريخ الكرة الأرضية ، وأنه كان يوجد وسط هذه الكتلة الموحدة بحرى قديم يسمى تيثز Tethys فى موضع البحر الابيض المتوسط ، ثم تزحزجت أجزاء من هذه الكتلة الموحدة الكبيرة وانفصلت عن بعضهما فى بداية الحقب المتوسط .



وتفترض النظرية أن حركة الزحزحة والإنفصال كانت فى اتجاهين :. – أحدهما فى الاتجاه الشمالى (شمال خط الاستواء) نتج عنها إنضغاط حوض التيثز وتكوين الجبال الألبية ، وثانيهما فى اتجاه الغرب ونتج عنه انفصال الأمريكتين لتكوين جبال الشاطىء الغربى .

والنقد الموجه لهذه النظرية هو أنها اهتمت بدارسة الارض فى أواخر تاريخ حياتها وتركت بداية تطورها بدون تفسير ، كما أن هناك أكثر من عقبة أو صعوبة فى تفسير الزحزحة القارية فى هذين الاتجاهين من أن النظرية ينقصها تفسير لأسباب مقنع الزحزحة .

٤) نظرية التموجات (أو التورمات) الأرضية Oscillation-Undation Theory :(هارمان ١٩٣٠ Haarmann ، ويلز Bailey Willies ، فان بيمالين Van Bemelen) افترض هارمان تكوين تورمات أرضية Geotumours تفصلها منخفضات أرضية Geodepressions نتيجة سريان الصهير الصخرى (الماجما) الموجود تحت القشرة الأرضية من مكان (تحت المنخفضات) إلى مكان آخر (تحت التورمات) وذلك لإعادة حالة التوازن الإستاتيكى فى القشرة الأرضية بعد اختلال توازنها تحت تأثير عامل كونى غامض Mysterious Cosmic Factor .

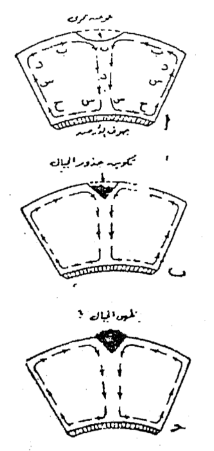
والخطوة الطبيعية التالية هى تعرية هذه للتورمات الأرضية وترسيب المواد الناتجة من التعرية فى المنخفضات . وعند تحرك العامل الكونى الغامض بالنسبة لوضع الأرض فانه يتبع ذلك تحرك التورمات الأرضية وبالتالى المنخفضات الأرضية بما فيها من مواد رسوبية ، ويؤدى ذلك إلى رفع الصخور الرسوبية ، التى تكونت فى المنخفضات الأرضية ، وبالتالى انزلاقها ، بواسطة الجاذبية . على السفوح المنحدرة للتورمات الأرضية الحديثة التكوين ، فتتراكم هذه الصخور فوق بعضها فى شكل ثنيات أرضية بصعوبة كسور وهوالتى يتم ترتفع شاهقة لتكوين سلاسل الجبال .

لم تجد هذه النظرية قائلا لها حيث لا يكفى مجرد إفتراض تأثير عامل كونى غامض فى مثل هذه الحالات لتبنى النظرية بفرضها ، وحيث أن التراكيب الإنزلاقية غير مقبولة كسبب أساسى لتكوين الجبال .

ولذلك فقد حاول ويلز وفان بيميلين إيجاد تعديلات وتفسيرات لحركة جريان الصهير الصخرى تحت القشرة الأرضية ، وما ينتج عن ذلك من تكوين التراكيب الصخرية ، بطرق عديدة لا داعى لتفصيلها ، ويمكن القول بأن هذه المحاولات كانت معقدة التفسير وغير محكمة لأنها بنيت على افتراضات عن حالة ما تحت القشرة الارضية التى لا يعرف عنها إلا القليل ، بل أن ما وصلت إليه المعرفة عن القشرة الأضية نفسها ما زال فى حاجة إلى المزيد .

٥) نظرية التيارات الناقلة Convection Current Theory : وقد نشأت فكرة هذه النظرية فى أوائل القرن الحالى (أمفيرير ١٩٠٦ Ampferer ، ثم تولاها غيره بالتنمية ومنهم ستيلا ١٩٣٦ Stille ، كريجز ١٩٣٩ Griggs ، هولمز ١٩٢٨ Holmes ، هيس ثم فيننج ماينز ١٩٣٤ Vening Meinesz) .

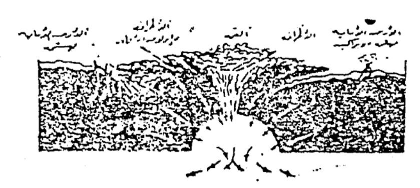
وأساس هذه النظرية هو إفتراض حدوث تيارات حمل حرارية تحت القشرة الأرضية نتيجة اختلاف فى درجة الحرارة وبالتالى اختلاف فى الكثافة ، وأن حدوث هذه التيارات يوجد حالة التوازن الاستاتيكى للأرض ، فالمناطق العميقة تحت القشرة الأرضية تستمد حرارتها من باطن الأرض وكذلك من حرارة النشاط الإشعاعى فتخف كثافة مكوناتها نسبياً وتضطر هذه للارتفاع



(شكل ٨٨) يوضح نظرية تيارات الحمل الناقلة
ب=بارد ، د=دافىء ، س=ساخن ، ح=حار

إلى الطبقات الأعلى تحت القشرة الأرضية ـ أما المناطق السطحية ، على عكس ذلك، فتفقد حرارتها بدرجة أكبر وأسرع من الأجزاء الباطنية فتضطر بذلك إلى الهبوط نتيجة لثقل وزنها عن ذى قبل ، وحيث أن سرعة التبريد فى قاع المحيطات أكبر منها تحت القارات فمن البديهى أن تتكون التيارات الناقلة من تيار هابط تحت المحيطات وتيـــار صاعد تحت القارات فى هيئة حلقات أو دوائر مقفولة (شكل ٨٨) ينتج عنها إعادة توازن درجة الحرارة .

وعلى أساس صحة وجود مثل هذه التيارات الناقلة فى باطن الأرض تقدم كثير من العلماء بتفسيرات مختلفة لميكانيكية تكوين الجبال على أساس واحد هو: أينما تنساب مثل هذه التيارات الناقلة فى مستوى أفقى تحت سطح الأرض فانها تحدث قوى فعالة يظهر أثرها فى قوة ضاغطة فى مكان يتقابل فيه تياران ، وقوة شادة عند مكان افتراقهما ، فمن المتوقع أن تتكون الجبال أينما يتقابل تياران ثم ينحرفا هابطين حيث تنمو هناك قوة شفط Sucking للقشرة الارضية إلى باطنها ، ينشأ عنها تراكم الكتل الجانبية لهذه المنطقة بعد تكسيرها وتحطيمها وتكوين الثنيات الأرضية والفوالق ، حسب قـوة الشفط الناتجـة (شكل ٨٩) .



(شكل ٨٩) يوضح طريقة تكوين الجبال نتيجة قوة الشفط الناشئة من التيارات الناقلة (عن كراوس Kraus)

وقد وجدت هذه النظرية معارضة أقل من سابقاتها ، بل أنها الوحيدة التي تجد محبذين أكثر من معترضين في وقتنا الحالي ، ومع ذلك فهناك بعض الملاحظات التي لا يمكن التأكد من حقيقتها ، فمثلا : لو أن كل الدلائل تشير إلى وجود مثل هذه التيارات الناقلة في باطن الارض وأنها قد تؤدي إلى إيجاد قوة هدامة ، إلا أنه من غير المعروف ما إذا كان أثرها كافياً لتهشيم وتكسير وتراكم الكتل الصخرية الضخمة لتكوين مثل هذه الجبال الشامخة ، ومرد ذلك لصعوبة الوصول إلى معرفة ما تحت القشرة الأرضية، بل أن القشرة الأرضية نفسها مازالت تحتاج إلى كثير من الدراسة .

الباب الخامس

الجيولوجيا الطبيعية أو الديناميكية

Physicaq or Dynamic Geology

مقدمة :

من الحقائق التى لا جدال فيها أن سطح الأرض يمر دائما بعملية تغير مستمرة . والصور أو الدلائل على هذا عديدة فمن تصور لما تحمله قطرات مياه الأمطار من أعلى إلى أسفل إلى تلك الكميات الهائلة من فتات الصخور التى تقع من أعالى الجبال بالإضافه إلى ذلك السيل الذى لا ينضب من المواد التى تحملها الرياح فى المناطق الصحراوية إلى جانب عدد لا يحصى من الأمثلة التى منها ما تشاهدها وتحس بها إما فى حياتنا القصيرة الأجل نسبة إلى هذه الأزمنة الجيولوجية أو مما يثبت لدينا من واقع الدراسة الجيولوجية للتغيرات التى حدثت لتضاريس القشرة الأرضية وأهمها ما يعرف بنظرية تزحزح القارات .

ومن المنطق أن نبدأ حديثنا عن عملية التغيير فى سطح القشرة الأرضية هذه بمناقشة ما نراه الآن وما نشاهده على الطبيعة من تحركات للكثبان الرملية والتى تتراكم بفعل الرياح وتكون المصاطب النهرية أو الدلتا نتيجة لما تحمله مياه الأنهار من مواد عالقة كالغرين والطمى والزلازل بما تحدثه من هزات أرضية تؤدى إلى التكسير والتخريب والبراكين بما تحمله من باطن الأرض لتخرجه خلال فوهاتها . . . الخ .

أن ما نراه الآن هو صورة من صور عديدة بعضها طويل الاجل يمتد آلاف السنين والبعض الآخر بضع دقائق لهو ضوء يلقى على ما حدث فى

الماضى وأثر فى هدم أو بناء سطح القشرة الأرضية . ولهذا فانه يمكن تقسيم العوامل المختلفة التى تؤثر فى تغير سطح القشرة الأرضية إلى نوعين : ـ

١ — عوامل خارجية External Processes .

ويقصد بها تأثير الغلاف الجوى والمائى على القشرة الأرضية مثل الرياح والأمطار والمياه الجارية والبحار والثلاجات . . الخ .

٢ — عوامل داخلية Internal Processes .

أ ـ العوامل الخارجية External Processes .

كما أسلفنا الذكر أن عملية تغير سطح القشرة الأرضية تشمل فى الحقيقة جزئين رئيسيين هما الهدم والبناء .

١ — الهدم Destruction .

ويشمل عمليات التفتيت والتكسير والتحلل بحيث يؤدى إلى تحول المواد الصلبة المتماسكة إلى مواد مفككة ومهشمة من السهل على عوامل النقل المعروفة نقلها من مكانها إلى مكان آخر وتسمى هذه العمليات جميعها « التعرية » Denudation أى تعرية سطح الأرض .

٢ — البناء Construction .

ويشمل عمليات تجميع وترسيب المواد الناتجة من عمليات الهدم والمنقولة إلى أماكن الترسيب .

وأنه لمن المدهش أن نرى أن عمليات الهدم تكون فى أوج نشاطها فى

الأماكن المرتفعة عن سطح الأرض وعلى العكس فان عمليات البناء تسعى دائما إلى ملأ الحفرات والمنخفضات والوصول بها إلى سطح الارض ولعل هذا يبين للقارىء أن عمليات الهدم والبناء تتضافر فى تسوية سطح الارض طبيعيا .

المناخ والتعرية Climate and Denudation

حيث أن التعرية سواء كانت مباشرة أو غيرمباشرة تحدث أثرها بواسطة تأثير العوامل الجوية المختلفة فان نوع وقوة تأثير هذه العملية لابد وأن يرتبط إلى حد كبير بالاحوال المناخية السائدة للمنطقة .

وعوامل التعرية عديدة وسوف نتعرض للحديث عنها تفصيلا ولكنه من الجدير بالذكر أن نبدأ بأهم هذه العوامل تأثيرا على صخور القشرة الارضية ومن ثم نأتى إلى الإشارة عن العوامل الأقل أهمية .

وأهم عوامل التعرية هى : —

١ — الجاذبية Gravity

٢ — المياه Water

٣ — الجليد Ice

٤ — الرياح Wind

من هذه الاربعة عوامل لعلنا نرى أن الجاذبية هى العامل الوحيد الذى لا يعتمد على الاحوال المناخية أما الثلاثة الباقية فارتباطهم بالاخيرة وثيق .

وعلى هذا الاساس فانه يبدو منطقيا لو قسمنا الاختلافات فى الاحوال المناخية على سطح القشرة الارضية إلى أربعة أقسام وهى : —

ا ـ النطاق الاستوائى Equatorial Zone ويتميز بالحرارة الشديدة ـ أمطار غزيرة ـ نباتات وغابات كثيفة .

ب ـ النطاق الصحراوى Arid Zone ويقع على جانبي النطاق الإستوائى ويتميز أيضا بالحرارة العالية مع جفاف الجو — أمطار نادرة — نباتات وغابات قليلة أو غير موجودة .

جـ) النطاق المعتدل Temperate zone

حرارة معتدلة — أمطار متوسطة — نباتات وغابات موجودة .

د) النطاق القطبي : Antarctic and Arctic zones

إلى أقصى الشمال وأقصى الجنوب من النطاق الاستوائى ويتميز بالبرودة الشديدة — قلة وجود المياه الجارية ـ الجو جاف ـ نباتات نادرة وأيضا حيوانات قليلة . وفي كل من الانطقه السابق ذكرها تتسم عمليات التعرية بخصائص معينة وخاصة لكل نطاق والتى تبعا لها تختلف قوة أو قدرة تأثير العوامل المختلفة بعضها نسبة للبعض .

هذا ويجب الاشارة إلى أن هناك مايعرف أيضا بالتعرية البحرية Marine denudation والمقصود بها عمليات الهدم التي تحدث في قيعان البحار والمحيطات وهي لاتعتمد كثيرا على الأحوال المناخية إلا في المناطق القطبية والتي يزيد من تعقد وتشابك عملياتها وجود البحار الجليدية .

طبيعة عملية التعرية Nature of Denudation

أن عملية التعرية ذات ثلاثة أوجه Three fold فالوجه الأول يشمل كل

مايؤدى إلى تحول الصخور الصلبة المتماسكة إلى صخور أقل صلابة أو فتات صخور هذه إما بالتكسير أو بالتحلل حتى يسهل نقلها .

أما الوجه الثانى فهو عملية نقل المواد التى تستطيع عوامل النقل المعروفة (الرياح — المياه) نقلها من أماكن التكسير إلى مصاطب الترسيب .

أما الوجه الثالث فهو مشترك مع الوجه الثانى فى أنه يمثل عملية البرى أو التآكل التى تصاحب عملية نقل المواد المفتته أو المكسرة إلى أن تحدث عملية الترسيب .

هذه الوجوه الثلاثة هى المعروفة جيولوجيا باسم : -

— عملية التجوية Weathering proc

— عملية النقل Transportation

— عملية البرى أو التآكل (Abrosion) Corrosion

١ — عملية التجوية . Weathering proc

تعريف وتقديم :—

وتحت هذا العنوان يمكن ادراج كل العمليات التى تؤدى بصورة أو بأخرى إلى تكسير وتفتت المواد الصلبة ناريه أو رسوبية أو متحولة وأعداد هذه المواد المفتته لعملية النقل (ثانى عمليات التعرية) بواسطة عوامل النقل المختلفة .

وعملية التجوية لها طبيعه كيميائية وأن كانت تبدو فى صورها العديدة ميكانيكية النشأة .

وكما عرفنا الصخر سابقا أنه تجمع معادن وأن المعادن هى مركبات لها صفات بلورية مميزة ومعروفة وكذلك تراكيب كيميائية ثابتة . وصورة تواجد هذه المعادن فى الصخور يختلف من صخر إلى آخر تبعا لنشأته وطريقة تكونه فهى أما صخور ومعادن فى صورة بلورية كمعظم الصخور النارية والمتحولة أو فى صورة حبيبات كمعظم الصخور الرسوبية وفى الأخيرة يغلب وجود مواد لاحمة والتى أدت إلى تماسك الحبيبات بعضها البعض ومن ثم فأنه فى حالة الصخور الرسوبية تعتمد قابلية الصخر أومقاومته لعوامل التعرية على نوع مادة اللحام أما الصخور الناريه والتى تبلورت معادنها من الصهير فأن قوة تماسكها يرجع إلى قوة تماسك البللورات فقط بدون وجود مواد لحام وعلى هذا فهى أصلب وأكثر تماسكا أى أكثر مقاومة لعوامل التعرية إذا ماقيست لمعظم الصخور الرسوبية .

التجوية الكيميائية Chemical weathering

حيث أن المعادن المكونة للصخور هى مركبات كيميائية غير عضوية ويعتمد تركيبها وصفاتها الطبيعية على ظروف تكوينها فبالتالى لاتتغير المعادن مادامت الظروف التى تكونت فيها لم تتغير ويقال لهذه المعادن حينئذ أنها معادن ثابته Stable minerals ولكن افتراض عدم تغير الظروف فى الطبيعة غير قائم على الاطلاق . فالظروف دائما ماتتغير وعلى هذا فأن بعض المعادن تتغير لتلائم الظروف الجديدة . وعملية تغير المعادن هذه يصاحبها عادة تكسير أو تحلل للمعادن ومن ثم تغير لمكونات الصخر سواء من بين معادنه الاصلية أو ما استحدثه من مكونات جديده اضيفت اليه من الخارج أى أنه تحدث عمليه تغيير كيميائى تؤدى إلى تكوين صخور جديدة .

التأثير الكيميائى للهواء Chemical action of the Atmosphere

من الحقائق العملية الثابتة لدينا أن مكونات الهواء الرئيسية هى عناصر النتروجين ، الأوكسجين ، ثانى أكسيد الكربون ، بخار الماء مع كميات صغيرة من حامض النيتريك والأمونيا .

وعنصر النتروجين خامل ولا يلعب دورا خاصا فى عملية التجوية الكيميائية وعلى هذا فان تأثير هذا العنصر ممكن التغاضى عنه اما ثانى أوكسيد الكربون فهو موجود بنسبة حوالى ٠,٠٠٣٪ فى المناطق المفتوحة Open countries وهذه النسبة متغيرة من مكان إلى آخر ولو أن هذه النسبة تبدو للقارىء أنها ضئيلة إلا أنها فعالة جداً وتلعب دوراً هاماً فى عمليات التجوية الكيميائية خاصة إذا علمنا تأثير وجود هذا العنصر مذابا فى الماء وبالتالى زيادة قدرة الأخير على إذابة أنواع جديدة من المركبات الصخرية . وهـذا ماسنتعرض له بالتفصيل عند الحديث عن تأثير الميـاه على الصخور والمعادن .

أما معظم عمليات التجوية الكيميائية فتعتمد إعتماداً كليـا على الأكسدة ولو أنه يجدر الاشارة إلى أن الأكسدة ترتبط بـل ويزيد من قوة تأثيرها وجود الرطوبة ممثلة فى وجود بخار الماء بالاضافة إلى وجـود ثانى أكسيد الكربون فمعظم عمليات التأكـد لاتتم فى الجـو الجاف . ولعل من الأمثلة الشائعة والمعروفة لدينا جميعا صدأ الحديد والذى يدل على أهمية تضافر بخار الماء فى عملية الأكسدة . والهواء يحتوى على نسبة كبيرة من بخار الماء ولكنها نسبة متغيرة تبعا للظروف المناخية والحقائق العلمية أثبتت أن هناك عملية انتقال مستمرة ودائمة وعكسية بين صورة الماء الموجود فى الغلاف المائى وصورته فى الغلاف الجوى ومن ثم فانه يمكن تصوران المـاء الأرضى كان فى وقت

من الأوقات فى صورته البخارية فى الهواء وعلى هذا فانه من الصعب بل ومن المستحيل تصور فصل تأثير المكونات الغازية للغلاف الجوى عن تأثير الماء فى صورته العادية على الصخور بصفة عامة . خاصة وأن بعض هذه المكونات تكون فى أنشط صورها عند تواجدها مذابة فى الماء .

ومن أشهر الامثلة على التأكسد الطبيعى هو تحلل معدنى البيريت (ح كب٢) وهو موجود بكثرة فى الصخور ويجرى التفاعل حسب المعادلة الآتية : —

ح كب٢ + أ٢ ← ح كب أ٤ + كب

وكبريتات الحديدوز الناتجة سهلة الذوبان فى الماء وسريعة التحول إلى مواد أخرى أما الكبريت فانه يتأكسد سريعا وفى وجود الماء وتتحول إلى حامض الكبريتيك والذى سرعان مايتفاعل مع عناصر الألومنيا والكربونات مكونا الكبريتات والتى تذوب بسرعة فى الماء مما يساعد على تحلل الصخور. وعملية تحلل معدن البيريت هامة جدا فى تحويل الصخور إلى تربة .

ونقيض الأكسدة كيميائيا هو الاختزال وعملية الاختزال ليست فعالة كما هو الحال فى التأكسد حيث أن المواد المؤكسدة هى الاكثر ثباتا وانتشارا على القشرة الارضية وأهم عوامل الاختزال فى القشرة الأرضية هى بدون شك المواد العضوية ومن الجدير بالذكر أن طبقات أكاسيد الحديد الحمراء والمنتشرة بين الصخور الرسوبية والتى تكونت نتيجة لعمليات الأكسدة تحتوى أحياناً على بقع خضراء أو بيضاء والتى فسرها الجيولوجيون على أنها اختزال محلى Local reduction لمركبات الحديد والتى ربما نتجت من تأثير تحلل المواد العضوية الموجودة فى الطبقات أصلا .

التأثير الكيميائي للماء Chemical action of water

وتأثير الماء كعامل من أهم عوامل التجوية متعدد النواحي . فالى جانب أهميته كنشط لتأثير المكونات الغازية الموجودة بالهواء نجد أن له عديد من الخصائص الاخرى والتي تجعله في المقام الأول بالنسبة لأثر عوامل التجوية الأخرى على تغيير سطح القشرة الأرضية .

فبالنظر إلى عملية إذابة المعادن مثلا . نجد أن معظم المعادن المكونة للصخور لاتذوب في الماء (النقي) . . هذا باستثناء بعض الرواسب الملحية الجبس والانهيدريت حتى أن كربونات الكالسيوم والتي تكون معظم الصخور الجيرية في القشرة الأرضيـــة لاتذوب إلا بوجود ثاني أوكسيد الكربون مذابا في الماء .

حسب المعادلة الآتية :

$$\text{كا ك ا}_{٣} + \text{ك ا}_{٢} + \text{يد}_{٢}\text{ا} \longrightarrow \text{كا (يد ك ا}_{٣}\text{)}_{٢}$$

وبذلك تتحـول كربونات الكالسيوم الغير قابلة للذوبان في المـاء إلى بيكربونات الكالسيوم القابلة للذوبان بسرعة . ولعل هذا يفسر سرعة تآكل أحجار المباني الجيرية في المناطق ذات الأمطار الوفيرة .

السليكا - على سبيل المثال لاتتأثر إلا بالماء القلوى وحتى إذا كان الماء قلويا فالسليكا لاتذوب فيه كامـــلا إلا إذا كانت على حالتها الغروية Colloidal state ولكن تأثير الماء بصفة عامة يعتبر فعالا جداً عندما يكون حامضيا نتيجة لإذابة ثاني أوكسيد الكربون أو حامض الكبريتيك والذى ينتج من تأكسد معـادن الكبريتيدات مثل البيريت والماركازيت كما سبق

الاشارة ومن الامثلة المعروفة لدينا والهامة جدا خطورة مياه المناجم بصفة خاصة على المزروعات وذلك إنما يرجع إلى طبيعة هذه المياه الحامضية ومن ثم خطورتها على المزروعات .

ووجود الأحماض العضوية فى الماء نتيجة لتحلل المـواد النباتية كالفحم يساعد أيضا فى عملية التحلل واذابة المعادن .

ومن الظواهر الطبيعية والتى تدل على تأثير المياه المذاب بها ثانى أوكسيد الكربون وعملية قدرتها الفائقة على إذابة الصخور الجيرية الواسعة الانتشار — ظواهر تكوين الستلاكتيت والستلاجميت وتكوين ممرات الأنهار الجوفية Under ground rivers والكهـوف الضخمة Gigantic caves .

ومن الجدير بالذكر أنه مما يساعد على تأثير وقدرة إذابة هذه المياه وجود الشقوق والفواصل الموجودة أصلا بالصخور المختلفة .

واتحاد الماء مع بعض المعادن يكون مايعرف بالمعادن المائية وهذه العملية تعـرف بالتميؤ Hydration فمعادن السليكات أو الاكاسيد تتحول إلى سليكات وأكاسيد مائية بهذه الطريقة .

وأقرب الأمثلة على عملية التميؤ هو تحول معدن الأورثوكلاز (سليكات الألومنيوم والبوتاسيوم) إلى معدن الكاولين أو الطين الصينى ومعدن الكوارتز الذى يتواجد على هيئة غروية وذلك حسب المعادلة التالية :ـ

بو لو س٣ ا٨ + يد٢ ا + ك ا٢ ــــه لو٢ س٢ ا٧ ٢٠ يد٢ ا + س ا٢ + بو٢ ك ا٣

أورثوكلاز

كاولين

وأهمية هذا التفاعل تنحصر فى وفرة معدن الأورثوكلاز فى معظم الصخور النارية وعلى رأسها صخر الجرانيت حيث يكون حوالى ٣٥٪ من نسبة المعادن الموجودة به .

٤ أن تحول معدن الأنهيدريت (كبريتات الكالسيوم) إلى معدن الجبس (كبريتات الكالسيوم المائية) مثال آخر على عملية التميؤ .

ثبات المعادن والتجوية Mineral stability and weathering

تتأثر المعادن المختلفة بعمليات التجوية بدرجات متفاوته فبعضها سهل التغير ويقال له معدن غير ثابت وبعضها يقاوم عوامل التجوية بشدة ويعرف بأنه معدن ثابت. والدخول فى تفاصيل تحلل المعادن فى الطبيعة هو خارج نطاق دراستنا فى هذا الكتاب إلا أنه من الجدير بالذكر أن نشير فى صورة موجزة عن أهم العمليات التى تؤثر فى بعض المعادن المكونة للصخور .

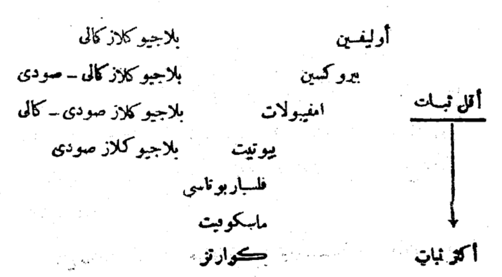
واستجابة المعدن الواحد لظروف التجوية قد تختلف باختلاف وطريقة تواجده كما أن نواتج تجوية معدن واحد تختلف باختلاف الظروف التى تحيط به . وهناك بعض المعادن تتحلل على مراحل لتعطى فى كل مرحلة نواتج مختلفة .

ومن أهم المعادن التى تقاوم التجوية وتعرف بأنها معادن ثابته هو معدن الكوارتز يليه معادن الماسكوفيت والماجنيتيت والجارنت وعلى هذا فان تواجد هذه المعادن يكون فى صورة رواسب متبقية Residues ولو أن الماسكوفيت عادة ما يتكسر فى اتجاهات انفصامية ويحمل مع الفتات الصخرية المنقولة

تحلل معادن الفلسبارات هو فى المقام الأول بالنسبة لتحلل المعادن حيث

أن مجموعة الفلسبارات هى أهم المعادن المكونة للصخور من حيث أنها أكثر انتشارا بصفة عامة . وتحلل معادن الفلسبارات ليس بسيطا لأن نواتج التحلل لاتكون دائما واحدة بل مختلفة تبعا للظروف . فمعادن الفلسبارات هى مركبات الألومنيو سليكات لعناصر البوتاسيوم والصوديوم والكالسيوم وفى العادة خليط من هذه العناصر ومن ثم فهى أملاح لقاعدة قوية وحامض ضعيف وعلى ذلك فهى سهلة التحلل المائى hydrolysis وعادة ماتكون نواتج تحللهم هو مادة الكاولين وهى أنقى صور معادن الطين Clay minerals وأما الكالسيوم الداخل فى تركيب البلاجيوكلاز القاعدى والمسمى بالفلسبارات الكالسية فيدخل فى تكوين كربونات الكالسيوم ولعله من المعتقد أن كل تكاوين كربونات الكالسيوم (الصخور الجيرية) الموجودة فى الصخور الرسوبية يعزى أصلا لتحلل معادن للفلسبارات الكلسية الموجودة بالصخور النارية . أما المعادن الغير سليكاتيه مثل معدن البيريت (ح كب$_2$) فهو مع الماء والأوكسوجين يعطي أكاسيد الحديد وحامض الكبريتيك كما ذكرنا سابقا .

ترتيب المعادن تبعا لدرجة ثباتها لعوامل التجوية .



وايجازا لعمليات تحلل (تجوية) المعادن المختلفة نجد أن أهم النواتج هى معادن الطفل ، الكلوريت ، أكاسيد الحديد والكربونات .

التأثير الميكانيكي للماء والجليد :— Mechanical action of water and Ice

وينحصر الأثر الميكانيكي للماء والجليد فى عملية نقل الرواسب الأقليمى والتآكل والبرى أثناء النقل . ولكنه بالإضافة إلى هذا فان هناك خاصية طبيعة للماء لها أثر فعال فى عمليات التكسير والتفتت للصخور بصفة عامة ألا وهى خاصية تجمد المياه . فالماء عند تجمده يتمدد بنسبة حوالى ١٠ ٪ من حجمه الأصلى وهذا التمدد يؤدى إلى احداث ضغط كبير . ومن ثم فلو تجمد ماء متواجد فى فتحات أو فجوات أو شقوق موجودة فى صخر ما فان التمدد الحجمى الناتج عن عملية التجمد يحدث ضغطا على الصخر نفسه مما يؤدى إلى تكسيره وتفتته وفى الحقيقة أن هذه الظاهره هامة جدا خاصية فى المناطق الباردة وعلى الاماكن المرتفعة مثل قمم الجبال ولعله من المؤكد أن أكوام فتات الصخور (الركام الصخرى) التى نلاحظها دائما تحت سفح الجبال ماهى إلا نواتج لتجمد المياه على قمم هذه الجبال والتى مالبثت أن أدت إلى تفتت الصخور وانزلقت بفعل الجاذبية من أعلى إلى أسفل .

والجمد (Forst) عامل مؤثر جدا فى تفكك تجمعات الصخور السطحية وبهذا يسهل نقلهم إلى أماكن أخرى .

وتربة المناطق الباردة تتميز عموما بشكل خاص وهو الشكل الاسفنجى والذى يجعلها أكثر من غيرها من أنواع التربة الأخرى تعرضا لعوامل التجوية وخصوصا تأثير المياه الجارية . والشكل الأسفنجى لتربة المناطق الباردة إنما

يتكون نتيجة لأنصهار الجليد المتخلل بين حبيبات التربة تاركا الفراغات التي قد نشأت من تجمد المياه بين حبيبات التربة .

تأثير النباتات والحيوانات Biologicae action

بالاضافة إلى العوامل الغير عصوية لعمليات التجوية والتي ذكرناها فيما سبق نجد أن كمية هائلة من تكسير الصحور يرجـــع إلى النشاط الحيوى للحيوانات والنباتات وبصفة خاصة الأخيرة . فان جذوع النباتات لهـا القدرة على أفراز عصارة حامضية تستطيـع أن تحلل معادن التربة والصخور وذلك لمسافات عميقة . كما أن لهذه الجذوع طاقة ميكانيكية هائلة فى توسيع الشقوق الموجودة في التربة أو الصخور ومن ثم تساعد حركة المياه الجوفية والهواء فى تحلل التربة .

وعلى النقيض من هذا فان النباتات الكثيفة تحمى التربة التى تنمو فيها من الازالة وعلى هذا فاننا نجد دائما فى منـاطق الغابات أن سطح الأرض مغطى بمواد من فتات الصخور والتى تكونت نتيجة للتجوية فى نفس مكانها ولم تنقل إلى مكان آخر . وهناك بعض الأنواع من النباتات الصغيرة فى الحجم والتى تنمو فوق سطح الصخور فتجعل سطح الأخيرة رطب دائما مما يساعد عمليات التجوية على زيادة فاعليتها كما أن هذه النباتات تكون لها عصارة حامضية ذات تأثير قوى .

التجوية والمناطق المناخيه Weathering and altitude

من البديهى أن تختلف التجوية من مكان إلى آخـر على سطح القشرة الأرضية فطبيعة عمليات التجوية وكذا مدى تأثيرها على الصخور المختلفة

يعتمد اعتماداً كليا على الظروف المناخية . ومن ثم فانه يجب دراسة تأثير وفعالية عمليات التجوية المختلفة فى كل منطقة مناخية على حده .

والمناطق المناخية مقسمة إلى أربع كما ذكرنا من قبل :—

١ — المناطق الاستوائية Tropical regions

٢ - المناطق الصحراوية Desert regions

٣ — المناطق المعتدلة Temperate regions

٤ المناطق القطبية Arctic and antarctic regions

ومن الجدير بالذكر أن التجوية تعتمد على خط العرض أساسا ومن الطبيعى أيضا أن تختلف من مكان إلى آخر على نفس خط العرض ومثال هذا نجد أن الأماكن الوسطى من القارات تختلف عن الأماكن الشاطئية من حيث طبيعة المناخ وكذلك فان فى آسيا الوسطى والتى نجد فيها إنعدام المناطق المعتدلة بمعناها الحقيقى بل مناطق صحراوية تنتقل إلى قطبية أو جليدية مباشرة .

١ — التجوية فى المناطق الاستوائية :—

تتميز هذه المناطق بصفة عامة بوجود الغابات الكثيفة والحرارة الشديدة والأمطار الغزيرة وبالتالى فان التجوية الكيميائية نشيطة جدا ووجود النباتات الكثيفة يقلل أو يضعف من تأثير عمليه النقل ولهذا نجد أن الصخور تتحلل لمسافات بعيدة ولأعماق كبيرة قد تصل فى بعض الأحيان ٢٠٠ قدم أو أكثر تحت سطح الأرض .

وأهم نواتج التجوية الكيميائية هى تكوين التربة المسماة باللاتريت

(Larerite) والكاولينيت (Kaolinite) والبوكسيت (Bauxite) .
واللاتريت مميزة للمناطق الاستوائية عموما حيث الأمطار الغزيرة وهى عبارة عن خليط من أكاسيد الحديد والألومنيوم المائية ذات اللون الأحمر أو البنى .

وتتم عملية تحلل معادن السليكات فى هذه المناطق بسرعة تفوق كثيرا تحللها فى المناطق الباردة والسليكا الناتجة من التحلل تكون عادة فى صورتها الغروية مما يسهل على المياه القلوية إذابتها ونقلها على هيئة محلول .

ونجد أن معدل تفكك desintegration rate الصخور الرسوبية الميكانيكية النشأة سريع جداً فى هذه المناطق حيث تزال المواد اللاحمة بفعل الأمطار الغزيرة من صخور الحجر الرملى والكونجلومرات ومعظم الصخور الصفائحية (مثل الشست ، الأردواز، الطفل) فتتحول الأولى إلى حبيبات خشنة وحصى ورمل أما الأخيرة فتتحول إلى مواد دقيقة مثل الطين .

ومن الطبيعى أن تحدث فى هذه المناطق مايعرف بالانهيارات الصخرية والأرضية وتنشأ عادة هذه الانهيارات من إذابة صخور الحجر الجيرى فى المياه المحملة بثانى أكسيد الكربون أكثر من غيره من الصخور .

ومن الملاحظات الجديرة بالذكر والتى تثير جدلا بين الجيولوجيين إلى وقتنا الحالى مايشاهد فى بعض محاجر المناطق الاستوائية من وجود طبقات رقيقة جداً متحللة فى سمك نصل السكين تتبادل مع أخرى غير متحللة . ولقد كان ومازال الاحتمال الموجود لتفسير هذه الظاهرة هو تأثير بعض أنواع البكتريا على تحلل الصخور ومما لاشك فيه أن درجة الحرارة العالية للمياه

الجوفية فى هذه المناطق والتى قد تصل إلى ٨٠°م تكون وسطا مناسبا لنشاط البكتريا (الصخرية) .

التجوية فى المناطق الصحراوية :ـ

وفى هذه المناطق حيث الجو الجاف ومن ثم ندرة وجود النباتات فان عمليات التجوية فى هذه المناطق تأخذ طابعاً غريبا بعض الشيء والذى يميزها عن غيرها من المناطق الاخرى .

والصحارى الحقيقية موجودة على هيئة حزامين (نطاقين) مستمرين حول الحزام الإستوائى وفى أغلب الأحيان فان درجة الحرارة بهذه المناطق تكون عالية جداً بالنهار أما الليل فيتسم ببعض البرودة وعلى هذا فان معدل التغير الحرارى بين الليل والنهار فى هذه المناطق كبير ومن ثم فان الأثر الناتج عن الإنكماش والتمدد يلعب دورا رئيسيا فى هذه المناطق . ولعلنا نستطيع من هذا تصور ان الرمال الموجودة والمميزة للصحارى بصفة عامة ما هى إلا خليط من فتات معادن ناتجة من التهشم الصخرى بهـــذه الطريقة بدون أى تغيير كيمائى للمعادن ذاتها .

ومن المعروف أن الأمطار فى هذه المناطق تكاد تكون منعدمة إلا أن هناك بعض العواصف الشديدة الممطرة أحياناً ولكنها وقتية ولهذا فانه غالباً ما تكون هناك كمية من الميـاه الجوفية فى الصحراء وحيث أن طبيعة الهواء دائما حار وجاف فان الخاصية الشعرية تلعب دوراً هاما فى جذب المياه من أسفل إلى أعلى حاملة معها ما تمكنت من إذابته من أمـــلاح للصوديوم والكالسيوم والماغنسيوم حتى تصل إلى السطح أو بالقرب منه حيث تتبخر بسرعة تاركة وراءها أملاح العناصر المشار إليها مركزة فى المناطق المنبسطة

أو المنخفضات الضحلة حيث لا يستطيع المطر إزاحتها من أماكنها فتتراكم على هيئة رواسب ملحية والتى يؤدى تبلورها إلى تفكك صخور سطح الأرض .

ويصبغ عادة رمل الصحراء بلون المواد الذائبة والمحمولة بالمياه الجوفية مثل الأحمر أو البنى نتيجة لأملاح الحديد وغيرها ...

ومن الجدير بالذكر أن نشير إلى ظاهرة وجود القشرة السوداء أو البنى الداكن اللامعة والمميزة لسطح صخور المناطق الصحراوية والتى تعرف باسم (ورنيش الصحراء Vernis du desert) وتتكون أساسا من أكاسيد الحديد والمنجنيز التى ترسبت بعد تبخير الميـــــاه الصاعدة بالخاصة الشعرية والحاملة لأملاح هذين العنصرين .

التجوية فى المناطق المعتـدلة :ـ

فى الحقيقة يمكن التعبير عن التجوية فى المناطق المعتدلة على أنها تضافر كل العمليات الموجودة فى المناطق الأخرى ولكن تأثير أيها على حده لا يصل إلى حد وقوة تأثيره فى منطقته المميزة به . وبالإضافة إلى هذا فلو أخذنا فى الإعتبار التغيرات المعروفة فى فصول السنة المختلفة نجد أنه فى فصل الشتاء مثلا يلعب الصقيع دوراً هاما أما فى الصيف فالمياه الجارية تلعب الدور الرئيسى ومن ثم فان التجوية الجافة أى بواسطة الرياح هى أهم العمليات فى الفصول السنوية المتميزة بالجفاف .

وحتى بالنسبة للأمطار فى حد ذاتها فانها تختلف إختلافا بينا من منطقة إلى أخرى فمعدل سقوط الأمطار مثلا فى الاسكندرية يختلف عنه فى القاهرة

أو فى الصعيد ... وهكذا بالإضافة إلى أن إرتفاع المناطق أو انخفاضها عن سطح الأرض يؤثر بشكل كبير على نوعية عمليات التجوية .

وبصفة عامة فانه فى الصيف تسود التجوية بالذوبان والتحلل الكيميائى أما فى الشتاء فتغلب عمليات التجوية الميكانيكية وخاصة بتأثير تجمد المياه والتى تؤدى إلى التفكك والتكسير .

التجوية فى المناطق القطبية :ـ

من البديهى أنه إذا أصبحت درجة الحرارة منخفضة جداً فان التأثير الكيميائى يصبح أقل فاعلية وأثراً وكذلك فان العوامل العضوية تصبح منعدمة تقريبا وعلى هذا فان أهم عامل فى هذه المناطق هو عملية تمدد المياه عند تجمدها ومدى ما تحدثه من آثار على تفتيت وتكسير الصخور المختلفة والذى يؤدى إلى تكون الحبيبات حادة الزوايا والتى تتراكم على سفوح جبال المناطق الشمالية خاصة .

ومن الجدير بالذكر أن تحلل المعادن يصبح ضئيلا جداً فى هذه المناطق .

نواتج التجوية :ـ

ونواتج التجوية عديدة ومختلفة تبعا للعامل المؤثر الذى تأثرت به الصخور دون غيره من العوامل . إلا أنه يجب الأخذ فى الاعتبار أن عوامل التجوية تتضافر مع بعضها بل وتسير معا فى نفس الوقت أى أنها ليست منفصلة . ولكن هناك بعض نواتج للتجوية والتى نشاهد مظاهرها على سطح القشرة الأرضية فنستطيع أن نستدل منها على أى العوامل كان سائدا دون غيره أثناء تكون هذه الظواهر الجيولوجية .

ومن الظواهر الجيولوجية المعروف أنها من نواتج التجوية ما يلي :ـ

١ — التقشير Exfoliation

ويحدث عادة للصخور النارية وبصفة خاصة صخور الجرانيت وهو عبارة عن صفة سطحيه للصخور تنتج من تأثرها بحرارة الشمس فيتمدد سطحها ثم ما يلبث أن ينكمش نتيجة لبرودة الليل ومن ثم فان تكرار هذه العملية تؤدي إلى حدوث قشور على سطح هذه الصخور والتي سهل انفصالها بمرور الوقت لتتكون قشرة أخرى وهكذا مما يعطى لسطح الصخور صفة الاستدارة نتيجة لهذا التقشير .

٢ — ركام السفوح Scree or talus

وهو عبارة عن فتات الصخور المختلفة والتي تتراكم على هيئة أكوام ضخمة توجد على سفوح الجبال وكذلك المنحدرات الشديدة وهي نتيجة للتجوية الطبيعية كتأثير التغيرات الحرارية وتجمد المياه . . الخ وينتقل هذا الفتات الصخرى من المستويات العليـــا إلى المنخفضة عادة بفعل الجاذبية أو الأمطار والسيول .

٣ — حقول الجلاميد Boulder fields

وهي عبارة عن مساحات شاسعة من الارض مغطاه بجلاميد (حصى كبير) مستديرة الشكل ويرجع أصل تكوين هذه الجلاميد إلى التجوية الكيميائية والتي تذيب بعض مكونات الصخور دون غيرها تاركة وراءها المواد الصلبة الغير قابلة للذوبان والشديدة المقاومة لعمليات التجوية الكيميائية . ومن أمثلة هذه الحقول بمصر تلك الوديان الموجودة على طريق الواحات بالصحراء

الغرية والمعروفة بين أهالى تلك المناطق باسم (وديان البطيخ) لما بها من جلاميد مكدسة والتي كانت موجودة أصلا فى صخور العصر الجيرى .

٤ — الوشاح أو الرواسب الصخرية وتكوين التربة :

Terrestrial deposits and soil formation

والوشاح الصخرى هو تلك الطبقة السطحية المكونة من المواد الصخرية المفككة والتى تكونت نتيجة لعوامل التجوية المختلفة طبيعية كانت أو كيميائية ويغطى هذا الوشاح الأساسى الصخرى Bed rock ويتركب من طبقتين : العليا وتتميز بوجود النباتات والمواد العضوية المتحللة وتعرف باسم التربة . والسفلى وتتكون أساسا من مواد صخرية متفككة فقط وتعرف باسم تحت التربة Subsoil .

ولقد تمكن المشتغلون بدراسة الوشاح الصخري وخاصة التربة إلى تقسيمه إلى الأنواع الآتية :ـ

١ ـ وشاح صخرى (رسوبيات) موضعية أو متبقية Residual deposits

وتشمل نوعان	حديث	مثل رواسب الحصى والرمل والطين ورواسب اللاتريت والبوكسيت .
	قديم	مثل رواسب الفحم وبعض رواسب المستنقعات

٢ ـ وشاح صخرى (رسوبيات) منقولة Transported deposits

وتشمل أربعة أنواع : غير متجانسة = مثل رواسب التالوث والفتات الصخرى Talus & rock debris .

طينية = رواسب الطين الحديث التكوين وبعض رواسب المستنقعات .
صحراوية = رمال صحراوية أساسا ورواسب التالوس .
جليدية = رواسب الثلاجات .

والفرق بين الوشاح الصخرى المتبقى أو الموضعى والوشاح الصخرى المنقول هو وجود علاقة معدنية وكيميائية بين الصخر الأصلى والوشاح فى حالة النوع الأول وانعدام هذه العلاقة فى الوشاح الصخرى المنقول . ومن الجدير بالذكر ان الطبقة السطحية من الوشاح الصخرى والمعروفة باسم التربة هو ما يهم الجيولوجيين والزراعيين والمهندسين وسمك هذه التربة لا يزيد عادة عن عدة أقدام وتتكون من خليط من المواد المعدنية المفككة المختلفة أو المتجانسة التركيب والتى تنتج من التجوية الطبيعية والكيميائية بالإضافة إلى وجود النباتات وما يصاحبها من موادعضوية متحللة تسمى الدبال(Humus) هذا إلى جانب ما تحتويه التربة من حشرات وحيوانات صغيرة وبكتريا .

تكوين التربة Soil formation

تتكون التربة أساساً من الفتات الصخرى الذى تنتج من تأثير عوامل التجوية المختلفة على صخور القشرة الأرضية الصلبة ولا تلبث هذه الفتات الصخرية أن تحتوى أنواع مختلفة من البكتريا والنباتات الدنيئة الاخرى كالطحالب وتحلل بها بقايا الكائنات الحية وبالتالى تنمو الحشائش والشجيرات . وتساعد امتداد جذور النباتات فى الأرض على مزيد من التفكك الصخرى كما تبدأ بعض الحيوانات الحفارة كالديدان الأرضية فى الحفر وتعريض مواد جديدة تحت سطحية للسطح وبهذا تصبح التربة مسامية وذات نسيج اسفنجى واضح يساعدها على تخلل المياه والهواء مما يهيء لها أنسب الظروف لنشأة تربة جيدة .

العوامل المتسببة فى تكوين التربة . —

تتعدد العوامل التى تؤثر على تكون التربة وطبيعتها نذكر منها ما يلى :

١ — طبيعة الصخر الأصلى Parent rock

٢ — التضاريس Relief

٣ عمر التربة Age of soil

٤ — الظروف المناخية Climate

١ — طبيعة الصخر الأصلى : —

يتوقف نوع وطبيعة التربة على نوع وطبيعة الصخر الأصلى . والمعروف باسم المصدر الأصلى للتربة . ويقصد بنوع وطبيعة الصخر الأصلى تركيبه المعدنى والكيمائى وكذلك خواصه الطبيعية كالمسامية الصخرية وسهولة الانفاذ Permeability وبعده عن مستوى المياه الجوفية Underground water.

ومثال ذلك فان التربة التى تتكون من الرمال فقط أو الأحجار الرملية لا تكون جيدة لأنها تكون ذات مسامية عالية ومنفذة للمياه وبالتالى لا تحتفظ بالمياه فيها بل تتخللها إلى الأعماق . هذا بالإضافة إلى أن المياه المتخللة تذيب معظم أملاح الحديد والتى تتواجد غالبا فى الصخور الرملية لترسبها على عمق غير بعيد من التربة وبهذا تكون حاجزا يعوق الحركة الحرة للمياه الجوفية ومن ثم تكون هذه التربة جافه جدا فى فصول الجفاف وشديدة الرطوبة فى الفصول الممطرة

وأيضا التربة الطينية فقط فهى تربة غير جيدة وذلك لأنها على عكس التربة الرملية تكون غير منفذة للمياه وخصوصا عندما تكون الأرض مسطحة

أى ليس بها إرتفاعات وانخفاضات فتتراكم المياه فيها على هيئة برك ومستنقعات وتعالج هذه التربة عادة باضافة الجير والذى يعمل على تماسك حبيبات الطين الدقيقة فيجعلها مشابهة لحبيبات الرمال مما يعطى لها صفة النفاذية إلى حد ما وتسمى التربة المارلية .

وأجود أنواع التربة الزراعية هى التى تكون خليطا من الطين والرمال والتى تسمى بالتربة الدلفانية .

وتحلل الصخور النارية كالجرانيت والبازلت عادة يعطى تربة جيدة وذلك لأنها تتكون أساسا من معادن الطفل والناتجة من تحلل معادن الفلسبارات المكونة لهذه الصخور النارية .

٢ — التضاريس Relief .

والتضاريس تؤثر على التربة من ناحيتين رئيسيتين . فمن الناحية الأولى لابد أن تكون السهول المقامة عليها التربة منبسطة إلى حد ما أو مائلة قليلا فاذا كانت الأرض شديدة الإنحدار فى بعض الأماكن فان ما عليها من فتات صخرى ينزلق ويتراكم فى الأماكن المنخفضة تحت تأثير الجاذبية . والأراضى المنبسطة دائما تكون رديئة الصرف المائى وبالتالى فلن أنسب أنواع التضاريس هى تلك الأراضى المستوية المائلة قليلة والتى لا يتعدى درجة ميلها عن خمس درجات أو عشر درجات على الأكثر .

٣ — عمر التربة Age of soil :

أتضح من واقع الدراسات المختلفة على التربة أنه كلما زاد عصر التربة كلما كان تركيبها المعدنى متشابه وبالتالى فانها تكون رديئة وذلك واضح من أن

المعادن تتحلل ببطء . وأكثر المعادن ثباتا هو معدن الكوارتز وكلما زاد عمر التربة كلما كان تركيبها أساسا معدن الكوارتز (السيليكا) وبذلك تكون تربة رديئة لعدم إحتوائها على أملاح أخرى تزيد من درجة خصوبتها . الأمر الذى يضطر الزراعيين إلى إضافة أنواع من الأسمدة لتعويض التربة عما فقدته من أملاح أزيلت بالذوبان على مر الوقت .

٤ ـ الظروف المناخية Climate

وتؤثر الظروف المناخية بطريقة مباشرة على نشاط البكتريا والمسماه باسم بكتريا التربة والتى تساعد على تحلل المواد العضوية المفيدة لنمو النباتات . فى المناطق الحارة الرطبة تنشط البكتريا ويزداد تكاثرها مما يساعد على إستهلاك الدبال أما فى المناطق الباردة الجافة فان تكاثر البكتريا يصبح ضئيلا مما يجعل التربة تحتفظ بكمية كبيرة من الدبال .

القطاع الجانبى للتربة Soil profile

تتميز التربة بصفة عامة بوجود ثلاث نطاقات تتواجد فوق بعضها وتعرف هذه النطاقات من أسفل إلى أعلى كما يلى :

١ ـ نطاق الصخر الأصلى (Bed rock zone) : ـ وهو السطح العلوى للاساس الصخرى نفسه ويتكون من صخور مفتتة جزئيا بفعل عوامل التجوية ويتدرج فى حجم مكوناته من حصى وطين فى أجزائه العليا إلى حصى فقط فى أجزائه السفلى إلى أن يصل إلى الصخر الصلب الذى لم يتأثر بعوامل التجوية .

٢ ـ نطاق تحت التربة (Subsoil zone) : ـ ويعلو هذا النطاق نطاق الصخر الأصلى ويتراوح سمكه ما بين عدة سنتيمترات إلى متر أو أكثر قليلا (١٢٠ سم) ويحتوى على بعض معادن الصخر الأصلى الأكثر مقاومة

للتحلل مثل الكوارتز إلى جانب الأملاح المترسبة من المعادن المتحالة وعادة ما يحتفظ هذا النطاق بالمياه الجوفية كما أنه لا يحتوى على مواد عضوية (دبال) .

٣ — نطاق سطح التربة Topsoil zone :

وهى كل ما يتواجد على سطح التربة من مواد بالإضافة إلى المواد العضوية ويعتبر هذا النطاق نطاق مستنزف دائماً حيث أن المياه السطحية تذيب ما فيه من أملاح وتحملها أثناء تخللها لترسبها فى نطاق ما تحت التربة . وتختلف لون هذا النطاق تبعاً لكمية المواد عضوية . ويتراوح سمك هـــذا النطاق ما بين ٢٠ ، ٤٠ سنتيمترا .

ومن الجدير بالذكر أن هذا القطاع الجانبى الموضح بالشكل (٩٠) يعتبر نموذجا للتربة المتبقية أما فى حالة التربة المنقولة فان نطاق الصخر الأصلى لا يكون موجوداً ويستقر نطاق ما تحت سطح التربة على صخر آخر ليس له علاقة بأصل التربة .

(أ)
سطح التربه

(ب)
تحت التربه

(حـ)
الصخر الأصلى

(شكل ٩٠) قطاع رأسى فى تربة ناضجة

أنواع التربة

كما سبق أن ذكرنا فان نوع التربة يعتمد على الظروف المناخية ومن ثم عوامل التعرية المختلفة بالاضافة إلى طبيعة الصخور الأساسية والتى يتكون منها أو عليها الوشاح الصخرى . ودراسة التربة من الناحية الجيولوجية يعطى فكرة عن المناخ أو الظروف البيئية السائدة وقت تكوينها . كما أنها فى بعض الأحيان قد تكون مصدرا لبعض الرواسب المعدنية الاقتصادية .

وهناك عدة أنواع من التربة . فمن واقع تصنيف هذه الأنواع نجد التربة إما أن تكون مصنفة على أساس تركيبها المعدنى إلى :—

١ — تربة غنية باكاسيد الحديد والطين Pedalfer soils

٢ — تربة غنية بالكالسيوم Pedocal soils

٣ — تربة غنية باكاسيد الحديد والألومنيوم Laterite & bauxite

٤ — تربة غنية بمعادن السليكا

أو أن التربة تصنف على أساس لونها الواضح والذى أيضا يرجع إلى تركيبها المعدنى إلى :

١) التربة الشهباء Podsol وهى التربة الغنية بسليكات الألومنيوم

٢) التربة السمراء أو البنية Brown soil وهى التربة الغنية بالطين وأكاسيد الحديد

٣) التربة الحمراء Laterite وهى التربة الغنية باكاسيد الألومنيوم المائية مع اكاسيد الحديد المائية .

٤) التربة السوداء Black soil وهى تحتوى على فتات صخرية ومواد عضوية قد تصل إلى ١٠٪ .

٥) التربة الكستنائية Chestnut soil وهى كالتربة السوداء ولكن لا يزيد مابها من مواد عضوية من ١ ٪ .

ومن الجدير بالذكر أن العوامل المتحكمة فى إنتاج نوع معين من التربة هى أساساً عوامل التجوية والتى تعتمد على الإذابة والترسيب أى إذابة أنواع معينة من الأملاح وترسيب أنواع أخرى ومن ثم يتحدد التركيب المعدنى وكذا لون التربة .

وبما أن عوامل التجوية المختلفة تتحدد بالظروف المناخية فإن التربة الشهباء مثلا توجد عادة فى المناطق المناخية الباردة حيث لا تكفى سرعة التحلل البكتيرى لإزالة المواد الدبالية وبذلك تبقى بعض الأحماض فى التربة فتتعادل الكربونات القلوية التى تنتج من التحلل الذاتى لمعادن السليكات بصفة عامة أما التربة الحمراء أو البنية فتسود فى المناطق المعتدلة مثل شمال غرب أوربا وشرق أمريكا وهذه التربة لابد أن تعالج بمواد جيرية حتى تصبح صالحة للزراعة وذلك لعدم احتوائها على كربونات الكالسيوم والأملاح القلوية .

أما التربة الحمراء فتكثر فى المناطق الرطبة ذات المناخ الحار كالمناطق الإستوائية ويرجع لونها الأحمر إلى وجود أكاسيد الحديد مختلطة بأكاسيد الألومنيوم المائية وفى بعض الأحيان تستغل هذه التربة كمصدر لخام الحديد إذا تواجد بنسبة عالية

والتربة السوداء هى المناطق الشبه صحراوية والمنتشرة فى روسيا وأمريكا

الشمالية وصالحة جدا لزراعة القمح وتكوين المصدر الصخرى لهذه التربة هو صخور التالوس المفككة والذى ينتشر فى المناطق الشبه صحراوية نتيجة لعوامل التجوية فى تلك المناطق ويعزى اللون القاتم فى هذه التربة إلى كثرة المواد العضوية والتى تصل إلى ١٠٪ .

أما التربة المميزة للمناطق الصحراوية فتكون تربة رملية صفراء أو بيضاء تتكون من حبيبات من الرمل المفتتة نتيجة لعوامل التجوية الميكانيكية ومن مميزات هذه التربة خلوها من المواد الدبالية حيث لا توجد نباتات بدرجة تكفى لتكونها .

نقل نواتج التفتت والتحلل Transportation

بعد عملية تفتت وتحلل الصخور بعوامل التعرية فإن نواتج التفتت هذه تتعرض للنقل بالوسائل المختلفة مثل التيارات المائية والرياح والثلاجات وكذلك بتأثير الجاذبية الارضية . كما أن الكائنات الحية قد يكون لها دور فى عملية النقل . وفى أثناء عملية النقل قد يحدث تصنيف للمواد المحمولة على حسب حجمها . فهناك بعض الأجزاء التى يصعب نقلها ولكنها تتفتت وتتحلل وتترك فى مكانها لتكون ما يسمى بالرواسب المتبقية أو المتخلفة . فى حين أن الجزء الأكبر ينقل إلى مسافات مختلفة .

فالحصى والزلط عادة لا ينقل إلى مسافات طويلة بعيدا عن المصدر وذلك نظرا لكبر حجم الحبيبات . فى الحين أن المواد الدقيقة والأملاح الذائبة فإنها تنقل إلى مسافات طويلة إلى أن يتم ترسيبها .

النقل بواسطة التيارات المائية :— يتم النقل بواسطة التيارات المائية جزئيا

عن طريق تدحرج الحبيبات الكبيرة على قاع المجرى المائى وخصوصا قرب منبع النهر حيث تكون سرعة تدفق المياه كبيرة تساعد على حمل الحصى الكبير. أما بالنسبة للحبيبات الصغيرة والدقيقة فانها تحمل معلقة مع تيارات الماء . وكلما زادت سرعة تدفق المياه زادت قدرتها على الحمل . ويلاحظ أن الحبيبات التى تنقل بالتدحرج على قاع المجرى المائى تكون أكثر استدارة من التى تحمل معلقة مع التيارات .

والجزء الأكبر من المواد الرسوبية ينقل على شكل أملاح ذائبة حيث تجد طريقها فى النهاية إلى البحر . وتقدر كمية الأملاح التى تنقل سنويا إلى البحر بحوالى ٢٫٥ مليون طن .

النقل بواسطة الرياح :ـ يحدث النقل بواسطة الرياح فى المناطق التى ليس بها نباتات حيث أن الغطاء النباتى يحمى الصخور من تأثير عوامل التعرية. ففى المناطق الصحراوية وحيث لا يكون هناك أمطار كثيرة فان الرياح تعتبر عامل النقل الرئيسى .

٣ — ترسيب المواد المنقولة Deposition :—

عندما تقل سرعة تيارات الحمل سواء مائية أو هوائية فان معظم المواد المحمولة تترسب ماعدا المواد الغروية التى تظل عالقة ولا تترسب إلا إذا حدث أى تغير كيميائى يسبب تجمعها وترسيبها . ولكن بالنسبة للمواد المنقولة على شكل أملاح ذائبة فاما أن تترسب مباشرة بتأثير عملية البخر أو نتيجة المتفاعلات الكيميائية التى قد تحدث بين المحاليل فتؤدى إلى تكون أملاح غير قابلة للذوبان . وقد تعمل بعض الكائنات الحية على الترسيب وذلك بأن تأخذ المياه التى بها أملاح ذائبة ثم تعيد فرز الأملاح الذائبة على شكل صدفات لها .

البيئات المختلفة للترسيب Environments of deposition :—

تعتمد طبيعة الصخور الرسوبية الناتجة على عاملين أساسيين :—

ا — نوع صخور الأصل التي تفتت وكونت الصخر الرسوبي .

ب — البيئة التي ترسب فيها . فيحدد نوع الصخر الأصلي التركيب المعدني للصخر الرسوبي الناتج . ولكن بيئة الترسيب تحدد الخواص الطبيعية للصخر .

ويمكن تقسيم بيئات الترسيب إلى قسمين أساسيين : .

١) البيئات القارية Continental environments

٢) البيئات البحرية Marine environments

البيئات القارية :— وهذه تشمل الترسب في المناطق القارية سواء في المياه العذبة أو المناطق اليابسة . ويمكن تقسيم البيئة القارية . إلى عدة أنواع:—

ا — البيئة النهرية Fluviatile environment : حيث يتم الترسيب في مجاري الأنهار وعلى ضفاف هذه الأنهار في وقت الفيضان . وتعرف معظم الرواسب من هذا النوع باسم الغرين Alluvium .

ب — بيئة البحيرات العذبة Fresh water lakes : في حالة البحيرات الكبيرة فانه يمكن ملاحظة ثلاثة مناطق وهي المنطقة الساحلية حيث توجد الرواسب خشنة الحبيبات ثم المنطقة متوسطة العمق حيث تكون الرواسب أصغر حجما إلى أن تتدرج إلى رواسب دقيقة الحبيبات في الأعماق الكبيرة .

حـ — بيئة البحيرات المالحة Salt lake environment : فالمياه التي تجد طريقها إلى هذه البحيرات لاتجد لها مخرج . ولكن الطريقة الوحيدة لخروج

الماء هي البحر حيث تتركز الأملاح الذائبة إلى أن تتشبع المحاليل وتترسب الأملاح الذائبة على حسب درجة ذوبانها فتترسب أولا الأملاح الأقل ثم يليها الأكثر ذوبان .

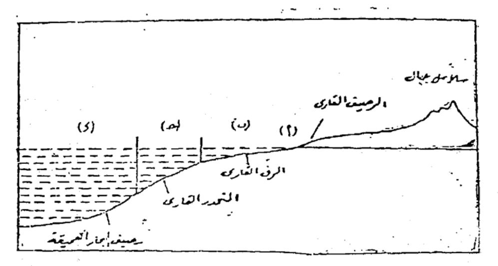
و ـ البيئة الجليدية Glacial environment : عندما تتحرك الثلاجات فانها تجرف فى طريقها كل ما تقابله من حصى وزلط وأى أنواع أخرى . ثم بعد ذوبان الجليد فى فصل الصيف يترسب كل ما تحمله هذه الثلاجات . ويختلف هذا النوع من الرواسب عن الرواسب النهرية فى أنها تكون رديئة التصنيف بمعنى أنها تكون مكونة من حبيبات كبيرة وصغيرة مختلطة مع بعضها . علاوة على أنها لا تكون مستديرة بالمقارنة بالرواسب النهرية .

هـ ـ البيئة الهوائية أو الصحراوية Aeolian environment : يتم النقل والترسيب بواسطة الرياح وذلك فى المناطق الصحراوية حيث يندر سقوط الأمطار فى هذه المناطق . ومثال ذلك الكثبان الرملية المنتشرة فى الصحراء الغربية . حيث تترسب الرمال المحمولة بالرياح على شكل كثبان كبيرة . ويأخذ الكثبان الرملى فى الكبر إلى أن يصل إلى إرتفاع تكون فوقه قوة الرياح وسرعتها لا تسمح بمزيد من الترسيب وتتحرك هذه الكثبان الرملية فى إتجاه الرياح وتأخذ عادة أشكالا مختلفة أوسعها إنتشاراً هو الشكل الهلالى ويسمى Barchan .

٢ ـــ البيئة البحرية Marine environment : تغطى البحار والمحيطات حوالى ثلث مساحة سطح الأرض . والجزء الأكبر من المواد الرسوبية ينقل إلى هذه البحار والمحيطات حيث تترسب فى القاع . وأخذ الفاصل بين القارة

والبحر ليس هو خط الشاطىء ولكنه على عمق حوالى ٦٠٠ قدم . والمنطقة بين خط الشاطىء إلى عمق ٦٠٠ قدم تعتبر تابعة للقارة وتسمى بالرصيف القارى Continental shelf .

ويمكن تقسيم البيئة البحرية إلى ثلاثة مناطق على حسب العمق :ـ



(شكل ٩١) مناطق الترسيب المختلفة فى البحر أو المحيط

ا ـ المنطقة الشاطئية Shore zone : وهى المنطقة المحصورة بين أعلى منسوب وأقل منسوب يصل إليه سطح ماء البحر . وهذه المنطقة فى الحقيقة تتبع القارة وتتكون من الحصى والزلط والرمل ذو بيئة مختلطة (بحرية ونهرية) . أما الرواسب الدقيقة فانها تحمل إلى الأعماق الكبيرة .

ب ـ المنطقة الساحلية The shallow water zone : وتشمل هـذه المنطقة الرصيف القارى ـ أى المسافة من خط الشاطىء إلى عمق ٦٠٠ قدم ـ حيث تكون الأمواج البحرية قوية ويصل تأثيرها إلى القاع بتقلب الرواسب الموجودة فى القاع وتساعد على نقل المواد الدقيقة إلى الأعماق الكبيرة .

جـ ـ المنطقة العميقة Deep water zone : وتشمل المناطق ذات عمق أكبر من ٦٠٠ قدم ـ وفى هذه المنطقة لا يصل تأثير الأمواج إلى القاع ـ والرواسب التى تصل إلى هذه المناطق العميقة تستقر على حالتها ولا يحدث لها أى تحريك فيما بعد . وتكون الرواسب عبارة عن الطين المختلط ببعض الطحالب البحرية .

وفى حالة البحار المقفولة مثل البحر الأسود فانه لا تكون هناك تهوية كافية فى الأعماق مما يؤدى إلى تكون ما يسمى بالبيئة المختزلة Reducing environment نظراً لعدم وجود أوكسجين كافى مما ينتج عنه تحلل المواد العضوية وتوليد غاز كبريتيد الأيدروجين (يد٢ كب) والأمونيا والتى تعتبر عوامل مختزلة فتكون بعض معادن الكبريتيدات مثل البيريت (Pyite $Fe\ S_2$) .

التغيرات التى تطرأ على الصخور بعد ترسيبها : Post-Depositional changes

بعد ترسيب الصخور قد تتماسك حبيباتها إما نتيجة للضغط الواقع عليها بعد دفنها على أعماق كبيرة ـ أو كنتيجة لترسيب مادة لاحمة بين حبيباتها . والمحاليل التى تتخلل حبيبات الصخور لترسب المادة اللاحمة قد تعمل على إذابة بعض مكونات الصخر ليحل محلها معادن أخرى . ولذلك فان الصخر الناتج قد يختلف تماما عن الصخر الأصلى وقت الترسيب .

النحت Erosion

والنحت هو أحد العمليات الرئيسية التى تتسبب فى تغيير شكل القشرة الأرضية كعمليات التعرية تماماً وعوامل النحت هى نفسها عوامل التعرية مثل الرياح والأمطار والأنهار ومساقط المياه والبحار والأنهار الثلجية وفى عمليات النحت تبذل عوامل النحت طاقة فعالة تؤدى إلى ما يسمى بالعمل الهدمى لهذه العوامل وعلى النقيض فان تضاءلت هذه الطاقة فان عوامل النحت تؤدى إلى ترسيب المواد العالقة والذائبة فيها وبهذا تؤدى إلى ما يعرف بالعمل البنائى لعوامل النحت .

١ — نحت الرياح Wind Erosion

ويسود نحت الرياح فى المناطق الصحراوية الجافة والتى يقل أو يندر وجود النباتات أو الغابات بها ومن ثم تكون المواد المتفككة أو المكسرة عرضة لعملية النحت بواسطة الرياح وكما أسلفنا الذكر أن لكل عامل من عوامل النحت جزء خاص بالهدم وآخر خاص بالبناء ويتوقف العمل الهدمى للرياح على ما تحمله من مواد عالقة بها كالحصى والرمل والتى تعمل كأسلحة لعمليات صقل أو برى الصخور التى تقابلها ويعتمد تأثير نحت الرياح على شدتها أو قوتها بالإضافة إلى نوع المواد العالقة بها . ومن البديهى أنه إذا كانت الرياح ضعيفة فان أثرها الهدمى يكون ضئيلا جداً . وتتغير سرعة الرياح وبالتالى شدة تأثيرها تبعـاً للتغيرات المناخية وكذلك تتوقف على تضاريس المنطقة . ولا تؤثر الرياح المحملة بالمواد المفتتة بنفس القـدرة على كل أنواع الصخور فهناك أنواع من الصخور ضعيفة المقاومة لتأثير الرياح

فتتآكل سريعا دون غيرها والأكثر صلابة وبهـــذا تتكون بعض الظواهر الجيولوجية المعروفة مثل المصاطب الجيولوجية والتى تتكون من أجزاء من صخور صلبة تعلو صخورا أقل صلابة أو متآكلة من أثر الرياح وأيضا ما يسمى بصخور عش الغراب أو موائد الشيطان كما فى شكل (٩٢) .



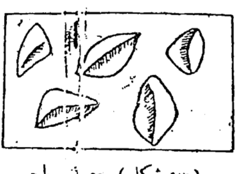
موائد الشيطان

(شكل ٩٢) موائد الشيطان

وترسب الرياح ما بهـا من مواد عالقة عندما تصطدم بعقبات تعترض طريقها فتلقى بما تحمله من رمال وأتربة مكونة ما يسمى بالكثبان الرملية والتى تختلف فى أشكالها من كثبان مستطيلة موازية لإتجاه الرياح إلى كثبان هلالية .

هذا ويجب الإشارة إلى مـا يعرف بالحصى الرياحى والكثير الإنتشار بالمناطق الصحراوية وهو حصى ذو زوايا مصقولة تحددت أشكاله نتيجة لإتجاه الرياح السائدة شكل (٩٣) .

وكميات المواد المنقولة بواسطة الرياح ضخمة جداً بحيث لا يستهان بها

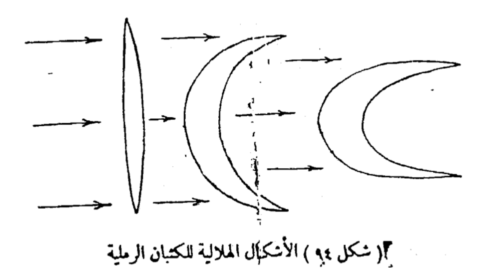


(٩٣ شكل) حصى رياحى

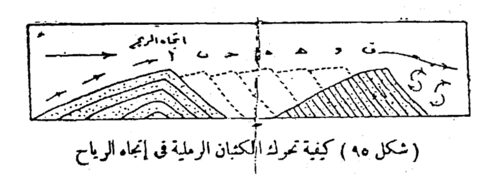
ففى بعض الأوقات وفى كثير من المناطق الصحراوية تحجب الأتربة والرمال المنقولة بواسطة الرياح الشمس عن سطح الأرض ويبدو الجو مائلاً إلى لون الإصفرار أو الأحمرار تبعاً لنوع مايحمله الهواء من أتربة .

الكثبان الرملية Sand dunes

وهى تجمعات رملية ذات أحجام وأشكال مختلفة وقد تغطى مساحات ضخمة وهى نوعان إما كثبان شاطئية أو نهرية وأما كثبان صحراوية والذى يعنينا هنا عند التكلم عن الرياح وآثارها النوع الأخير من الكثبان وتتكون هذه الكثبان نتيجة لإختلاف – حجم الحبيبات الرملية المغطية للمناطق الصحراوية والتى تجعل الرياح تحمل الحبيبات الدقيقة دون غيرها تاركة وراءها الحبيبات الخشنة والتى تكون مايعرف بتجمعات الحصى الرملى والتى تزيد من قوة تطاير الرياح الشديدة التى تصطدم بها وتؤدى إلى ترسيب الحبيبات الدقيقة فيما يعرف بإسم البقع الرملية التى إن زادت وكبر حجمها يكون مايسمى بالكثبان الرملية . وتنمو الكثبان الرملية عادة ولها تراكيب مختلفة فمنها ماهو ثابت ومنها ماهو مهاجر . وتتخذ الكثبان الرملية الصحراوية أشكالاً عديدة تعتمد على سرعة الرياح وثبات إتجاهها وكذلك الإمتداد الرملى وفى حالة ماتكون الرياح ثابتة الإتجاه فإن أشكالاً معينة من



(شكل ٩٤) الأشكال الهلالية للكثبان الرملية



(شكل ٩٥) كيفية تحرك الكثبان الرملية فى إتجاه الرياح

الكثبان الرملية تتكون وهى الكثبان الهلالية والكثبان الطويلة كالمبين فى شكل (٩٤) أما إذا تغير إتجاه الرياح بإستمرار فإن أشكالاً معقدة غير منتظمة تنتج بصفة مستمرة . ويبين شكل (٩٥) كيفية تحرك الكثبان الرملية فى إتجاه حركة الرياح .

٢ – نحت المطر Rain Erosion

كما أشرنا من قبل أن الأمطار تكثر في المناطق الإستوائية وكذلك في المناطق الساحلية من القارات نتيجة للبخر الناشىء من تأثير الشمس على مياه البحار والبحيرات ...إلخ وعندما تسقط الأمطار فإنها تقوم بعمل هدمي يتحدد بما تحدثه هذه الفتات الصخرية من جرف للفتات الصخرية من ف ق

المرتفعات والجبال وما تحدثه هذه الفتات الصخرية من نحت لما تنزلق فوقه من صخور بالإضافة إلى ما تذيبه مياه الأمطار من صخور قابلة للذوبان خاصة وأن مياه الأمطار لها القدرة على إذابة كميه من ثانى أكسيد الكربون الموجود بالجو وعندما تسقط الأمطار فى أى منطقة من المناطق فان جزء منها يتخلل سطح القشرة الأرضية مذيب ما هو قابل للذوبان ومكونا لما يعرف بالمياه الجوفية وجزءا يتبخر أما الجزء الثالث فيسيل على سطح الأرض مكونا مــــا يعرف بالمياه الجارية كالأنهار المؤقتة ومساقط المياه وغيرها ...

٣ — نحت السيول Torrent Erosion

والسيول هى عبارة عن الأنهار الوقتية والتى تتكون عندهطول مطر غزير على منطقة من المناطق خاصة المناطق المرتفعة . وعمل السيول هدمى حيث تجرف ما تقابله فى طريقها من كتل صخرية وجلاميدوحصى وتشق لها مجرى تحاول تعميقه بصفة مستمرة مكونة ما يعرف بالأخوار العميقة Canyons ويبدأ العمل البنائى للسيول بمجرد ما تنتشر مياهها على سطح الأرض فتفقد سرعتها وتبدأ برسيب ما تحمل من مواد عالقة .

٤ — عمل النهار Rivers qction

تعتبر الأنهار مياه جارية ولها أثر فعال كعامل من عوامل النقل والتآكل وخاصة فى المناطق المعتدلة المناخ فان المياه الجارية تعتبر من أهم عوامل التعرية إذا ما قورنت بعمل الجاذبية أو الرياح .

ولدراسة تأثير الأنهار كعامل من عوامل النقل والتآكل أو البرى فانه لابد من الإشارة إلى بعض الأساسيات فى دراسة الأنهار وهى . طاقة النهر وحمولته ومنحنى النحت النهرى وكذلك قانون نشأة التراكيب النهرية .

طاقة النهر Energy of stream

لقد دلت الدراسة المستفيضة التى قام بها العالم جلبرت (Gilbert) والتى وضع على أساسها نظريته المشهورة بنظرية جلبرت ومحتواها أن كل نهر له كمية معينة من الطاقة تعتمد على سرعته وحجمه . وحجم النهر فى العادة يكون ثابتا إلا أن سرعته تعتمد على عوامل عديدة أهمها الانحدار فى مجراه بالإضافة إلى كمية الاحتكاك الناشئة بين مياه الأنهار الجارية وقاع وجوانب هذه الأنهار ولذلك فان شكل المجرى النهرى له أهمية كبرى . وطاقة النهر يعبر عنها بأنها الطاقة الناتجة من الاحتكاك نتيجة لنقل المواد العالقة فى المياه وحيث أن طاقة النهر هى كمية ثابتة فان هناك علاقة واضحة بين النقل والاحتكاك وهذه العلاقة هى أن مجموع طاقة النقل الاحتكاك ثابت .

والمواد العالقة فى مياه الأنهار لها تأثير جيولوجى ضئيل ولكن المواد المتدحرجة على قاع المجرى هى التى تؤثر وتعمل بطاقة حركتها . فكل حبيبة أو كتلة صخرية متدحرجة تصطك بجدران أو قاع المجرى لها تأثير فعال على تماسك الطبقات الصخرية المكونة لهذا القاع أو هذه الجدران ومن ثم فان الحبيبات الصخرية المتحركة هى الأسلحة التى تستخدمها الأنهار فى عملية البرى والتآكل أما القوى المؤثرة فهى طاقة حركة النهر نفسه وبهذا يتضح كيف أن عمليتى البرى والتآكل متلازمتين فى عمل الأنهار .

حمولة النهر Load of stream

وحمولة النهر هى تلك الكمية من المواد الصخرية المفتتة التى يستطيع أى نهر ذو حجم معين على حملها . ونظرياً يمكن تصور أن وزن حمولة النهر لايجب أن يتأثر بحجم المواد المحمولة ولكن وجد عملياً أن النهر يستطيع أن

يحمل كمية من المواد الدقيقة عن أنه يحمل حمولة صغيرة من المواد ذات الأحجام الكبيرة . وحمولة كل نهر مقدار ثابت هو الحد الأقصى لهذه الحمولة فإضافة أى كميات تزيد عن حمولة نهر من الأنهار لابد وأن يرسب مقابلا لما مما يحمله النهر . وعند تساوى كمية ما يحمله النهر مع كمية ما يرسبه فانه يصبح نهرا عجوزا ولا يستطيع تعميق مجراه .

منحنى النحت النهرى : —

تتوقف عملية النحت الناتجة من عمل الأنهار على طبوغرافية الأرض وخاصة المجرى المائى فمما هو معروف أن النهر عادة ينحت بشدة فى الصخور عند منابعه حيث تكون هذه المنابع مناطق عالية وشديدة الانحدار وعلى العكس فان قوة نحت النهر تصبح صفرا عند المصب وذلك لقلة الانحدار الذى يقلل من سرعة المياه ومن ثم فان معدل الترسيب يكون عاليا جدا عند مصب الأنهار بصفة عامة .

كما أنه يجب الإشارة إلى أن أى ارتفاعات وانخفاضات طبوغرافية تعترض مياه الأنهار تؤثر فى قوة النحت أو زيادة الترسيب كما سبق أن شرحنا .

قانون التراكيب النهرية :

للتراكيب الجيولوجية الموجودة فى الأنهار خصائص معينة ولها قانون خاص يحكمها من حيث نشأتها وطبيعة تكونها . وتعتمد تلك التراكيب بصفة خاصة على نوع وخصائص الصخور التى تمر عليها تلك المياه الجارية وبصفة خاصة صلابة تلك الصخور .

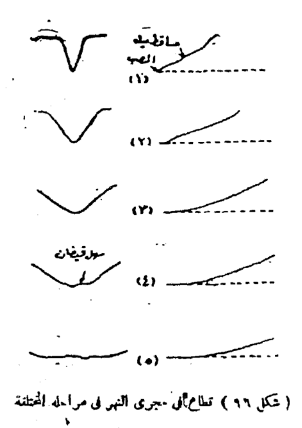
وبهذا فان معدل أو قوة نحت أى نهر من الأنهار يعتمد بالدرجة الأولى على درجة صلابة الصخور . فالصخور الناعمة ممكن إزالتها إما عن طريق ذوبانها أو تفتيتها بسرعة بينما تبقى الصخور الصلبة أو الأشد مقاومة على هيئة بروزات أو نتوءات فى مجارى الأنهـار . وبمرور الوقت فان هذه الصخور أيضا تتأثر بعوامل التحلل بالاضافة إلى الارتطام المستمر بالمياه الجارية ممـا يؤثر على مقاومتهـا . ويستمر الوضع كذلك إلى أن تصل قدرة النهر على النحت إلى الحد الأدنى فتبدأ عملية الترسيب . وبتكرار هذه العمليات أى النحت والترسيب نجد أن التضاريس النهرية تختلف بشدة من نهر إلى آخر معتمدة كلية على الاختلاف الموجود فى صلابة الصخور .

مراحل عمل النهر (دورة النحت) (River stages or cycle of erosion)

تمر الأنهار من منبعها إلى مصبها بمراحل متعاقبة يقال لها مراحل عمل النهر أودورة النحت وتنقسم هذه المراحل إلى ثلاثة : الشباب والنضوج والكهولة .

١ - مرحلة الشباب Youth stage

وتتميز هذه المرحلة دون غيرها بقدرة النهر على النحت ـ نحت مجراه ـ وذلك لما فى هذه المرحلة من سرعة تدفق ميـاه النهر نتيجة الانحدار الشديد والذى يمكن النهر من حمل كل ماينحته أثناء سريانه . ويشبه شكل مجارى الأنهار فى هذه المرحلة شكل حرف V شكل (٩٦) وتمثل شدة انحدار جوانب الوديان والتى لم تتمكن المياه النهرية من توسيعها بعد . وتتميز هـذه المرحلة من عمر الأنهار بوجود العديد من المساقط المائية .



(شكل ٩٦) قطاع أفقى مجرى النهر فى مراحله المختلفة

ب — مرحلة النضج Mature stage

وتلى مرحله الشباب النهرى وتتميز بأن تكون جدران النهر أقل حدة فى انحدارها ويكون النهر إلى حد كبير غير قادر على مزيد من النحت أو أنه وصل إلى الحد الأدنى فى قدرته على النحت ويصبح قادرا فقط على أن يحمل حمولته النهرية بحيث أن أى إضافة لهذه الحمولة تحدث عملية الترسيب كما ذكرنا سابقا .

ويصبح مجارى الأنهار فى هذه المرحلة على الشكل v أوحرف V مفتوحة

حـ - مرحلة الكهولة Old stage

وتلى هذه المرحلة مرحلة النضج وتكون باستمرار قرب مصب الأنهار حيث لايكون هناك نحت اطلاقا بل ترسيب وتسوية لطبوغرافية المنطقة الموجودة بها الأنهار .

تجديد شباب النهر (تصابى الأنهار) Rejuvenation of rivers

ليس من الطبيعى أن نتصور المجرى النهرى منحدراً بلطف خلال مسافات تقدر فى بعض الأحيان بآلاف الكيلومترات ولكن هناك مايعرف بالمصاطب أو الطبقات الصلبة التى تكون مايسمى بالدرج أوالسلم الصخرى rock-steps فى بعض الأماكن من المجرى نفسه والتى تعمل على اندفاع المياه أسفلها بقوة مما يعيد شباب النهر فى تلك الأماكن بينما هو كهلا على هذه المصاطب الصخرية.

هذا بالاضافة إلى أن الحركات الارضية الرافعة ترفع أرض المجرى فى بعض الأماكن مما يؤدى إلى ازدياد سرعة تياره وبالتالى يستأنف النهر تعميق مجراه بينما تقل أهمية التآكل الجانبي أو تنعدم .

الظواهر الطبوغرافية الناتجة من عمل الانهار

تقـــديم :—

من الحقائق البديهية أن خواص الأنهار ونتائج عملها الجيولوجى تختلف كثيرا عن بعضها من منطقة إلى أخرى فهناك فارق كبير بين نواتج الأعاصير النهرية فى المناطق الجبلية والتى تنتج من تيارات المياه النقية بما فيها من مساقط مائية وشلالات تنساب على طبقات صخرية مختلفة الأنواع وبين مجارى المياه البطيئة على السهول المنبسطة بتياراتها الضعيفة للماء العالق به الطين والمحاط بالمستنقعات المليئة برواسب الطفل والغرين .

ولاشك أن الاختلافات كلها ترجع أساساً إلي نوع وخصائص المادة الصخرية التى ينساب عليها الماء والتى يعتمد عليها تأثير وفعالية عمليات التعرية والتجوية والترسيب فى المنطقة . وبمعنى آخر فإن طبوغرافية أي وادى نهرى

يعتمد على عدة عوامل أولها بل وأهمها صلابة الصخور يليها عمر النهر النسبي وكذا المناخ .

هذا ومن الجدير بالذكر أن العمل الجيولوجي للانهار الصغيرة يكون أثناء زمن الفيضان فقط والذى يجعل لكل نهر حمولة . فبدون المواد الصخرية المتحركة فى مجارى الأنهار لا يوجد هناك أثر جيولوجى كبير .

ومما يجب أخذه فى الاعتبار بجانب صلابة الصخور أو شدة مقاومتها لعوامل التعرية فان وجود عديد من الفواصل والشقوق فى المادة الصخرية المكونة لمجارى وجوانب الأنهار تساعد كثيرا فى فعالية عملها الجيولوجى .

ومن الظواهر الطبوغرافية الناتجة من عمل الأنهار نلاحظ ما يلى : —

١ — الشرفات النهرية : — River terraces

وهى عبارة عن تلك المصاطب الممتدة بطول جانبى النهر وتشبه درجات السلم فى تتابعها — الواحدة تلو الأخرى — وهذه المصاطب تكون متقابلة على جانبى مجرى النهر ويمثل كل زوج من هذه الشرفات حركة من حركات رفع المجرى التى تؤدى إلى تجديد شباب النهر مما يؤدى إلى تعميق مجراه وبهذا فان الشرفات العليا تكون هى الأقدم بالنسبة لما تحتها من شرفات وهكذا . شكل (٩٧)

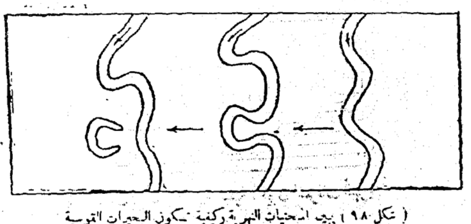
(شكل ٩٧) يبين كيفية تكون الشرفات النهرية

٢ — المنعطفات النهرية River meanders

عندما يصل أى نهر من الأنهار إلى حده الأدنى فى قوته على النحت فانه لايستطيع تعميق مجراه ولكنه فى نفس الوقت مازال يحمل جزءا من الطاقة والتى لابد أن يستخدمها بصورة أو بأخرى . ولقد وجد أن الأنهار فى هذه المرحلة (أى مرحلة الكهولة) تبدأ فى عملية التآكل الجانبى Lateral corrosion فاذا اعترض مجرى الميـــاه فى هذه المرحلة أى عائق صخرى فانه يؤثر على اتجاهها مما يؤدى إلى أن يتخذ النهر مسـارا متعرجا غير مساره المستقيم . ويكون التعرج بسيطا فى أول الأمر إلا أنه مايلبث أن يزداد بارتطام المياه فى جوانب هذه المنحنيات فيقعر جانبا بينما يرسب موادا مما يحملها فى جانب آخر ويصبح بهذا التعرج أو الالتواء واضحا جدا ومميزا .

وفى معظم الأحيان تزيد هذه الالتواءات بحيث تصبح المسافة الفاصلة بين نقطتين على خط مستقيم صغيرة جدا مع أن المجرى المائى الملتوى يكون طويلا وينشأ بهذا عنق ضيق وخاصة أيام الفيضان مما يؤدى إلى تكوين مايعرف بالبحيرات الهلالية Crescent-shaped lakes . كما هو مبين بالشكل (٩٨) .

ومن الجدير بالذكر أنه فى مناطق المرتفعات hilly districts ذات الانحدارات الشديدة ينعدم وجود هذه الالتواءات أو البحيرات الهلالية .



(شكل ٩٨) يبين المنحنيات النهرية وكيفية تكون البحيرات القوسية

٣ — أراضي الحيران Bad lands

وفي بعض الأحيان تكون أراضي الحيران مساحات شاسعة وتنتج من أثر الأمطار الغزيرة والمياه الجارية على الأراضي التي تتكون من مواد صخرية غير متماسكة ومختلفة الأنواع فتنحت وتذيب فيها السيول والأمطار الغزيرة وتحيل هذه الأراضي إلى شبكة من الحفر والمنخفضات والحيران والخوانق الصغيرة التي تفصلها بروزات ونتوءات صخرية مما يجعلها صعبة العبور . وتنتشر هذه الأراضي في المناطق الشبـــه صحراوية أو القاحلة كمنطقة سيناء مثلا بجمهورية مصر العربية والتي تتساقط عليها الأمطار بغزارة في بعض الفصول بينما يسودها الجفاف في فصول أخرى .

٤ — الحفـر الوعائية Pot holes

وكما أسلفنا الذكر فان الأنهار العديمة الجولة لاتبذل شغلا إلا قليلا ولكن بالرغم من هذا فان هناك نوعان من العمل الميكانيكي تنتج عن السرعة المتفاوته لمياه الأنهـار والتي تؤثر مباشرة على صخور القـاع . وهذه السرعة المتفاوته تحدث تيارات ودوامات صغيرة ذات حركة دائرية لولبيـة تحمل معها حصى الصخر الصغير وتدور في حركة طاحنة ودائمة تنتـج ثقوبا وحفرا في القاع الصخري تكاد تكون مستديرة . وبمرور الوقت تتسـع هذه الحفر وتتقعر جوانبها وفي بعض الأحيان تتلاصق وتتلاحم هذه الحفر الصغيرة مكونة حفرا أكبر وأكبر والتي تصل إلى أعماق كبيرة .

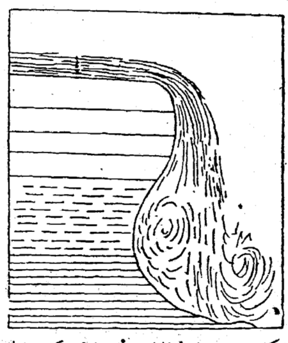
٥ — العمدان الأرضية Earth pillars

وهي من الظواهر الواضحة والتي تؤكد اعتماد تضاريس أي منطقة من المناطق على التراكيب الصخرية . وهي عبـارة عن أعمدة عالية من صخور

رخوة غير متماسكة كالطفل والطين وتنتهى عند رؤوسها بجلاميد وكتل كبيرة من الصخور الصلبة . وتنشأ هذه العمدان من تأثير الأمطار على الصخور الغير متجانسة التركيب كصخور الطين الجلمودى أو بعض صخور الكونجلومرات حيث يتكون الصخر من كتل صلبة مدسوسة فى مواد لاحمة دقيقة الحبيبات وتستعمل هذه الكتل الصلبة فى حماية المواد الدقيقة من عمل الامطار فيختفى خلفها وتحميها من الازالة بالسيول الجارفة ومن ثم تظهر الكتل الصلبة وكأنها تتوج أعمدة المواد الدقيقة والتى يصل ارتفاعها فى بعض الأحيان إلى عشرون مترا .

٦ — الجروف Escarpments

وتنشأ هذه الجروف عند وجود طبقات صلبة إما فى وضع أفقى أو مائلة قليلا تتبادل مع طبقات رخوة ومن ثم يسهل ازالة الأخيرة بواسطة المياه النهرية بينما تبقى الصخور الصلبة فى أوضاع بارزة مكونة بما يعرف بالجروف. (شكل ٩٩) .



(شكل ٩٩) مساقط المياه وتأثيرها فى تكوين الجرف

٧ — الخوانق والأخاديد Georges & canyons

والخوانق هى وديان ضيقة ذات جوانب شديده الإنحدار أو تميل إلى أن تكون رأسية تقريبا أما الأخاديد فهى متسعة وعميقة جدا بالنسبة لإتساعها مثل أخدود كولورادو الشهير بأمريكا والذى يبلغ طوله ٣٠٠ ميل بينما أقصى عمق له حوالى ٦٠٠ قدم .

وتتكون الخوانق والأخاديد من تدفق المياه بسرعة كبيرة من ارتفاعات عالية مما يؤدى إلى تعميق الوديان بصورة واضحة .

٥ — نحت البحار Marine Erosion

وعمل البحار بنائى أكثر منه هدمى وذلك لأن البحار بصفة عامة تعتبر أنسب الأماكن التى يتم فيها الترسيب فقاع البحر هو حوض ترسيب كبير لجميع المواد سواء عالقة أو ذائبة فى المحاليل البحرية .

وتضاؤل العمل الهدمى للبحار يرجع إلى تحديد هذا العمل بالأمواج والتيارات البحرية والمد والجزر وكلها عوامل تنحصر فى منطقة ضيقة من البحار وهى المناطق الشاطئية .

والأمواج طاقة مياه حركية تختلف فى شدتها تبعا لشدة الرياح وكذلك يختلف حجمها من أمواج يبلغ ارتفاعها ١٠ أمتار أو أكثر فى حالة العواصف فى المحيطات والبحار المفتوحة إلى أمواج أقل حجما فى البحار المقفولة كالبحر الأبيض المتوسط وتعمل الأمواج دائما على مهاجمة صخور الشاطىء فتكسرها وتحطمها وتعود لتهاجم بما تحمله من مواد عالقة . وتختلف صخور الشاطىء من صخور ضعيفة المقاومة للأمواج إلى صخور صلبة تقاوم مهاجمة الأمواج

ومن ثم تنشأ بعض الظواهر الجيولوجية الشاطئية كالتعرجات والمغارات والكهوف الساحلية .

أما المد والجزر فهو حركة منتظمة لمياه البحر تحدث كل ١٢ ساعة ،٢٦ دقيقة ويرجع سبب المد والجزر إلى ما بين الأرض والقمر من قوى الجذب ويتراوح الفرق فى منسوب ارتفاع الماء ما بين المد والجزر إلى عدة أمتار قد تصل إلى ١٥ مترا فى بعض الخلجان ولكن الطبيعى أن يكون من نصف متر إلى مترين كما أن الفرق فى المنسوب يزداد فى أوائل كل شهر قمرى ومنتصفه بينما يقل فى الأيام الأخرى . ويؤدى عمل المد والجزر إلى تكوين ما يسمى بالعتبات المدرجة على الشواطىء والتى تدل كل منها على منسوب المياه فى وقت كل من المد والجزر .

والتيارات البحرية تنشأ فى العادة من اختلاف كثافة المياه وكذلك درجة حرارتها ودرجة الملوحة ... الخ . وتكثر التيارات البحرية فى المحيطات والبحار المفتوحة عنها فى المغلقة ومن أهم وأضخم التيارات البحرية الموجودة فى العالم ذلك التيار الدافىء الذى يبدأ من خليج المكسيك ويتجه شمال شرق حيث يطوف بالشواطىء الغربية لأوروبا .

ومن الجدير بالذكر أن هناك بعض التيارات المحلية والتى تعرف بالتيارات الساحلية والتى تعتمد على الرياح وطبيعة الساحل .

والعمل البنائى للبحار معروف وهام جدا من الناحية البيولوجية فكما ذكرنا آنفا أن البحار هى أحواض ترسيب كبيرة لكل ما تحمله الأنهار والرياح والعوامل الأخرى . وللبحار قدرة خاصة على عملية تصنيف الرواسب أى

توزيعها الحجمى فعلى الشواطىء ترسب الحبيبات ذات الاحجام الكبيرة كالحصى والرمل الخشن بينما ترسب المواد الدقيقة فى الأعماق .

٦ نحت الثلاجات Glacial Erosion

والثلاجات هى عبارة عن أنهار ساكنة من الجليد تتحرك ببطء جدا وتتروا ح سرعتها ما بين بضعة سنتيمترات ومتر تقريبا فى كل ٢٤ ساعة وتكثر الثلاجات بالمناطق القطبية وعلى قمم الجبال خاصة فتوجد طول العام فى تلك المناطق.

والثلاجات تنقل كل فتات الصخور التى تقع على سطحها أو تعترض حركتها ومن الغريب أن نقل المواد المفتتة يتم على جانبي النهر الجليدى وفى حالة تقابل نهران جليديان فانه يتكون صف وسطى من المواد المفتتة المحمولة كما هو مبين بالشكل (١٠٠) وعند إدابة الأنهار الجليدية فانها تلقى بكل ما تحمله دفعة واحدة بدون أى تصنيف لهذه المواد ومن ثم فانه من المعروف عن الأنهار الجليدية أن ليس لها أدنى قدرة على تصنيف الرواسب ومن الجدير بالذكر ان الأنهار الجليدية لها قدرة فائقة على حمل الكتل الكبيرة جدا من الصخور الأمر الذى لا يتوافر لدى الأنهار العادية .

(شكل ١٠٠) كيفية تكون صف متوسط من المواد المنقولة بواسطة الثلاجات .

المياه الجوفية Undderground water

ويقصد بها المياه الموجودة داخل صخور القشرة الأرضية والتى يرجع

أصلها إلى المياه الجارية على سطح الأرض حيث يتسرب جزء كبير منها خلال مسام وشقوق الصخور المختلفة .

والمياه الموجودة فى صخور القشرة الأرضية تتدرج نسبتها من مجرد مياه مرتبطة بالتركيب الكيميائى لبعض المعادن إلى كونها مياه حرة طليقة الحركة بين مسام وفجوات الصخور المختلفة . وقد تكون المياه الأرضية محصورة أو مقيدة داخل شقوق ومسام طبقة معينة ولا تستطيع الحركة إلى أسفل أو أعلى فى هذه الطبقة نظراً لوجود صخور غير منفذة على جانبى الطبقة الحاملة للمياه . ويمكن تعريف المياه الجوفية الحرة Unconfined ground water بأنها تلك التى تملك وسيلة الإتصال بالجو خلال المسام والشقوق الموجودة فى الصخور التى تعلو الطبقة الحاملة . ويلاحظ فى هذه الحالة أن منسوب المياه الأرضية يكون أفقى وموازى لسطح . أما المياه الارضية المقيدة Confined ground water هى التى لا صله لها بالجو لوجود صخور غير منفذة تفصل بينها وبين سطح الأرض . وفى هذه الحالة يكون منسوب المياه الارضية غير تابع لسطح الارض .

وفى الاماكن التى بها مياه أرضية حرة يمكن تقسيمها إلى ثلاثة مناطق :

١ — المنطقة الجافة أو الغير مشبعة Zone of non-saturatim وهى المنطقة الموجودة تحت سطح الارض مباشرة وتتميز بعدم إحتوائها إلا على آثار قليلة من الماء أو الرطوبة .

٢ — المنطقة متوسطة التشبع Zone of intermediate saturation وتلى المنطقة السابقة ويكون الماء موجود فقط فى الشقوق الرفيعة جداً والمسام الدقيقة كمسام الصخور الطينية وذلك نتيجة للخاصية الشعرية .

٣ — المنطقة دائمة التشبع Zone of permenant saturation وتلى المنطقتين السابقتين . وفيها تكون جميع الشقوق والمسام مليئة بالماء بصفة دائمة . والمنسوب السائد هو الذى يحدد مدى قرب أو منسوب المياه من سطح الأرض . فيكون أقرب للسطح فى الأماكن الرطبة دائمة المطر عنه فى الاماكن الجافة قليلة المطر كما أن وجود نهر أو بحيرة قريبة يؤدى إلى رفع هذا المنسوب .

وحركة المياه داخل القشرة الأرضية يتحكم فيها عوامل كثيرة مثل الميل العام للطبقات والتراكيب الجيولوجية المختلفة كالثنيات والفوالق هذا إلى جانب بعض صفات الصخور الحاملة للمياه والتى نوجزها فيما يلى :

مسامية الصخور Porosity

الصخور المسامية هى التى تحتوى على فراغات وفجوات بين حبيباتها ويعبر عن مسامية الصخر بالنسبة المئوية لحجم الفراغات إلى الحجم الكلى للصخر :

$$\text{مسامية الصخر} = \frac{\text{حجم الفراغات الموجودة فى الصخر} \times 100}{\text{الحجم الكلى للصخر}}$$

فالطين مثلا تصل مساميته إلى ٥٠ ٪ والحجر الطباشيرى والرمل والحصى من ٢٠ — ٤٧ ٪ أما الصخور الجيرية فتتراوح مساميتها من ٥ — ٢٠ ٪ ولكن الصخور النارية والمتحولة أقل الصخور مسامية .

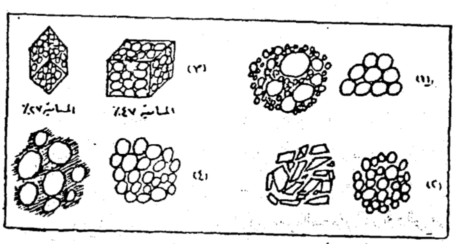
وقد تكون مسامية الصخر أولية Primary porosity حيث تكون مرتبطة بمراحل تكون الصخر نفسه . أما المسامية الثانوية Secondry porosity فهى التى تنشأ فى الصخر بعد تكونه كنتيجة لتعرضه لبعض العوامل الخارجية مثل الشقوق والفواصل التى تتكون فى بعض الصخور النارية والتى هى أصلا

غير مسامية . ويطلق على الصخور فى هـــذه الحالة لفظ صخور ممررة Pervious rocks . حيث أن الماء لا يمر خلال الصخر نفسه بين حبيباته بل يمر خلال هذه الشقوق والفواصل .

وتعتمد مسامية الصخر على عدة عوامل منها :

١ ـ حجم الحبيبات ومدى تصنيفها Size of grains and degree of sorting كلما زادات درجة تصنيف حبيبات الصخر بمعنى تساوت أوتقاربت فى الحجم زادت المسامية . فى حين أن الصخور رديئة التصنيف أى المتفاوتة فى الحجم تقل فيها المسامية . حيث تعمل الحبيبات الصغيرة على ملء الفراغات بين الحبيبات الكبيرة شكل ١٠١

٢ ـــ شكل الحبيبـــات ودرجة تكورها Shape of grains استدارة الحبيبات وتكورها يزيد من مسامية الصخر . أما إذا كانت الحبيـــات حادة الزوايا فإن الزوايا الحاده تعمل على ملأ الفراغات بين الحبيبات الأخرى وتقلل من المسامية .



(شكل ١٠١) اعتماد المسامية على طريقة رص الحبيبات فى الرواسب المختلفة

٣ — طريقة رص الحبيبات Manner of packing :

تقل المسامية أو تزداد تبعاً لطريقة رص الحبيبات فإذا كان الرص مكعبي الشكل كانت المسامية حوالى ٤٧٪ . أما إذا كان الرص معيني الشكل كانت المسامية حوالى ٣٦٪ . وتعتمد طريقة الرص على الضغط الواقع على الصخر فى مراحل تكونه .

٤ درجة تماسك الصخر degree of cementation :

إذا تماسكت حبيبات الصخر نتيجة لترسيب مادة لاحمة مثل أكسيد الحديد أو السليكا أو كربونات الكالسيوم بين الحبيبات قلت المسامية .

ب — النفاذية Permeability

وهى مقدرة الصخر على إنفاذ وامرار السوائل خلال مسامه ويمكن أن تكون مسامية الصخر عالية فى حين أن نفاذيته صغيرة مثل الطين حين يختزن الماء فى مسامية الدقيقة ويحتفظ به بواسطة الخاصية الشعرية . وعلى النقيض من ذلك فالصخور الرملية مساميتها صغيرة نسبياً (٥–٢٠٪) ولكن نفاذيتها كبيرة جداً نظراً لكبر حجم الحبيبات مما يسمح بمرور الماء بينها بسهولة .

ومما سبق يتضح أنه يمكن تقسيم الصخور بالنسبة لدراسة المياه الأرضية إلى أربعة أنواع حسب درجة مساميتها ونفاذيتها .

١ — صخور مسامية منفذة Porous and permeable مثل الصخور الرملية

٢ — صخور مسامية غير منفذه Porous and impermeable مثل الطين .

٣ — صخور غير مسامية ممرره Non-porous and pervious مثل الصخور النارية المحتوية على شقوق وفواصل .

٤ — صخور غير مسامية وغير منفذه Non-porous and non-pervious مثل الصخور النارية الغير محتوية على شقوق وفواصل .

فالنوع الأول والثالث من هذه الأنواع الأربعة هو الذى يسمح بحرية تحرك المياه ويسمى بالصخر الخازن Reservoir rock وهو أيضا مهم من ناحية دراسة التجمعات البترولية .

مصير المياه الجوفية :

تميل هذه المياه إلى الاتجاه دائما إلى أسفل بتأثير الجاذبية . ولكن هناك عوامل قد تؤدى إلى خروج المياه الجوفية إلى سطح الأرض . طبيعيا دون دخل للانسان فيه عن طريق الينابيع أو العيون . أو آليا بطريق الحفر عن طريق الآبار .

الينابيع والعيون Springs

تحتوى مياه الينابيع على نسبة عالية من الأملاح قد تصل إلى ثلاثة أمثال المياه العادية المستخدمة من الأنهار والبحيرات وهناك العديد من أنواع الينابيع والعيون ويعتمد تقسيمها على :

١ — قوة الينبوع بالنسبة لقوة خروج الماء
٢ — نوع الصخر الخازن للماء
٣ — التركيب الكيميائى لمياه الينبوع
٤ — درجة حرارة المياه
٥ — اتجاه حركة المياه
٦ — العلاقة بين الينبوع وطبوغرافية المنطقة
٧ — التركيب الجيولوجى المسبب للينبوع

وتختلف الينابيع والعيون عن النشوع المائية أو الرشح المائى فى أن الينابيع والعيون تتدفق منها المياه الجوفية بدرجة تجعلها تندفع فى شكل قنوات صغيرة. أما النشوع المائية فتدفق المياه لا يكون بدرجة كبيرة : وقد يستمر تدفق المياه من الينبوع مئات السنين وليس معنى هذا التدفق المستمر وجود مخزون لا ينضب ولكن للنفاذية الكبيرة التى يتمتع بها الصخر الحامل للمياه الجوفية ولوجود مساحة كبيرة معرضه للامداد المستمر للماء من مصادره السطحية. وفيما يلى أنواع الينابيع المتكونة والناتجة من وجود تراكيب جيولوجية ملائمة أو ظروف طبوغرافية مناسبة شكل (١٠٢)

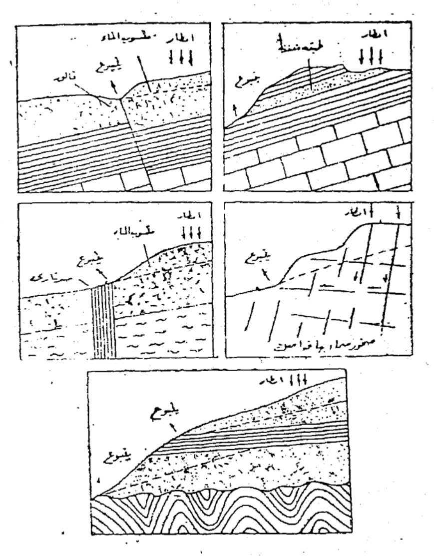
١ — ينبوع الوادى Valley spring

وينتج هذا النوع من الينابيع عندما يكون منسوب المياه الجوفية فى منطقة أعلى من منسوب سطح الأرض .

٢ – ينبوع صدعى Fault spring

وذلك عندما تصادف المياه الأرضية فالق فتصعد إلى أعلى متخذه سطح الفالق منفذاً لها خصوصاً إذا أدى الفالق إلى تجاور طبقة غير منفذة مع الطبقة المنفذة الحاملة للمياه الأرضية وأيضا فان وجود سد من الصخور النارية قد يؤدى إلى وقف الحركة الأفقية للمياه الأرضية فتصعد إلى أعلى عن طريق الحد الفاصل بين السد النارى والصخور المجاورة .

وهناك أنواع من الينابيع تسمى بأسماء الأملاح الذائبة أو المتركزه بها مثل عيون حلوان الكبريتيه . وغالبا ماتستخدم مثل تلك العيون فى أغراض العلاج . وقد تكون درجة حرارة مياه بعض الينابيع مرتفعة وتسمى الينابيع



(شكل ١٠٢) التراكيب الجيولوجية والظروف الطبوغرافية المناسبة لتكوين الانواع المختلفة من الينابيع .

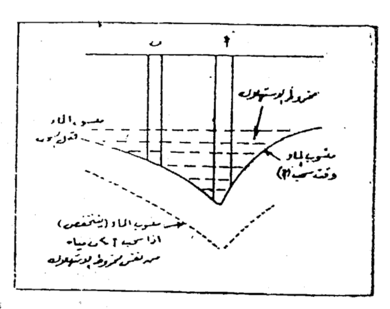
الحاره . ويرجع السبب فى أرتفاع درجة حرارة المياه إلى وجودها على أعماق كبيرة أو مرور محاليل بحمائيه حاره بالقرب من الخزان الحاوى للمياه الجوفية مما يسبب تبخر جزء من مياه الخزان ويضغط بخار الماء على مياه الخزان ويدفعها ساخنة إلى سطح الأرض على شكل ينبوع حار .

الابـار wells

وهى الحفر التى يصنعها الإنسان لإستخراج المياه الجوفية من خزاناتها فى المنطقة المشبعة تحت منسوب المياه الجوفية . وهناك نوعين من هذه الآبار :

١ — آبار اعتيادية : Ordinary wells

وهى التى تستخدم فيها المضخات لرفع الماء من الصخر الخازن إلى سطح الأرض وذلك نظراً لضعف الضغط الواقع على الماء وباستمرار السحب يتغير منسوب المياه فى المنطقة ويكـون مايسمى بمخروط استهلاك البئر . شكل (١٠٣) ويستمر منسوب المياه فى الانخفاض تدريجيا وتقـــل كمية المياه فى البئر . ولاستمرار السحب يلزم تعميق البئر وحفر آبار متباعدة .



(شكل ١٠٣) يبين مخروط استهلاك البئر وتأثير السحب على بئر مجاور .

٢ — آبار ارتوازيه Artesian wells

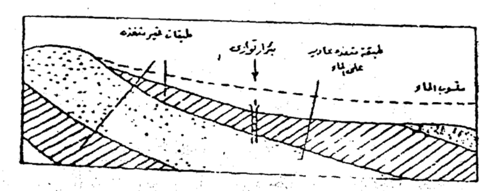
وهى الآبار التى يندفع منها الماء بمجرد حفر البئر دون إستخدام مضخات وغالبا مايكون الماء مقيد فى خزانات الماء الأرضيه

مياه الآبار عن مياه الينابيع فى أن الأولى تندفع بعد حفر البئر أما الثانية فتتدفق طبيعياً .

المياه الجوفية فى جمهورية مصر العربية :

يعتبر نهر النيل مصدراً أساسيا للمياه الجوفية فى مناطق مصر حول نهر النيل والدلتا والصحراء إلى جانب مياه الأمطار الموسمية والسيول وتخرج تلك المياه الجوفية على هيئة عيون وينابيع منتشرة فى منطقة سيناء مثل عيون موسى والعين السخنة قرب مدينة السويس وهو ينبوع فالق وعيون حلوان قرب القاهرة وفى منطقة الواحات . ومعظم المياه الجوفية تخرج بعد حفر آبار إعتيادية كتلك التى تحفر فى المناطق الممتدة حول وادى النيل وفى الدلتا وفى الصحراء الشرقية وأغلب مياهها مالحة غير صالحة للشرب والرى نظراً لما تذيبه من أملاح بعد مرورها على صخور جيرية وملحية .

وتوجد تلك المياه فى تركيبات عدسية من الحجر الرملى والطينى حول وادي النيل ويتغير منسوب المياه فيها فى فصول السنة المختلفة بتغير منسوب المياه فى نهر النيل نفسه وفى الصحراء الغربية وفى منطقة الواحات تكون المياه الجوفية مخزونة فى حجر رملى يسمى الحجر الرملى النوبى يعلوه طبقات طينيه



(شكل ١٠٤)

وجيرية من العصـــر الطباشيرى والعصر الايوسينى ويتخلل أجزاء منه نفس الحجر الطينى الغير منفذ فتكون المياه الجوفية مقيدة ومن مميزات الحجر الرملى النوبى أنه عالى المسامية ويميل بزاوية ١٥° إلى الشمال ومن المحتمل أن يكون مصدر تلك المياه الجوفية هو الأمطـار الغزيرة فى المنطقة الأستوائية جنوبا حيث تهاجر وتتحرك تلك الميـاه من الجنوب إلى الشمال وعند حفر الآبار الأرتوازية تندفع المياه نظراً لأن مناطق الواحات فى الصحراء الغربية منخفضة عن مستوى منسوب المياه الجوفية فى تلك المناطق .

وفى شمال جمهورية مصر على السـواحل كما فى منطقة مرسى مطروح وغيرها تطفو المياه العذبة فوق المياه العالية الملوحة المتسربة من رشح ماء البحر الذى يتخلل الصخور المنفذة . ومصدر المياه العذبة هو المطر والسيول الذى يسقط بغزارة فى فصل الشتاء على تلك المناطق وكلما ارتفعت المنطقة عن سطح البحر كلما زاد سمك الماء العذب فى المنطقة وهناك العديد من الآبار التى حفرت منذ عهد الرومان على المناطق المرتفعة والتلال . أما العيون الموجودة فى الصحراء الشرقية وسيناء مثل عين الجديرات والعـين السخنة فتقع فى وديان منخفضة تستمد مياهها من خزانات مصدر مياهها مياه الأمطار وتخزن فى صخور نارية متشققة وبها نسبة من الأملاح مما يجعلها غير مقبولة كمياه للشرب .

وأيا كان مصدر المياه ينابيـع كانت أم آبار اعتيادية أو ارتوازية فهو أساسى لحياة البدو كمياه شرب وري وزراعة وصناعة لسكان الصحراء وزوار تلك المناطق من العاملين والجيولوجيين والسائحين .

العمليات الداخلية

Hypogene action or Internal Processes

تقديم :

تعرضنا فيما سبق عن الكلام عن العمليات الخارجية التي تؤثر على سطح القشرة الأرضية وتؤدي إلى التغيرات المستمرة في هذا السطح من تكسير وتفكك وتحلل ونقل وترسيب وحان الوقت الآن حتى نتكلم عن الجزء الآخر من العمليات التي تؤدي إلى تغيير سطح القشرة الأرضية أيضاً ولكن نتيجة لما يحدث في الداخل أو بمعنى آخر فان العمليات الخارجية تستمد الطاقة اللازمة لها من الإشعاع الحراري للشمس أما العمليات الداخلية فمصدر طاقتها هي تلك الحرارة الهائلة والكامنة في جوف الأرض والمتكونة أساساً من الصهير والموجود على حالة سائلة منذ إنفصلت الأرض عن الشمس .

والدراسات المختلفة على أصل هذه العمليات ، عما إذا كانت نتيجة للتبريد الذي يحدث للأرض منذ إنفصالها عن الشمس ومن ثم انكماشها نتيجة لهذا التبريد والذي يؤدي إلى التجاعيد والإنثناءات المختلفة على سطح القشرة الأرضية أو عما إذا كان نتيجة لزيادة الحرارة الناتجة من وجود العناصر المشعة في جوف الأرض والتي تعتبر مصدراً هائلا للطاقة الحرارية ومن ثم التمدد نتيجة لهذا التسخين المستمر وبالتالي تنشأ التجاعيد والإنثناءات . وما يعنينا من هذه النظرية أو تلك هو أن سطح الأرض يتغير بصفة مستمرة أو بأخرى لتغيير حالة الإتزان الموجودة في القشرة الأرضية وعلى هذا تحدث بعض الظواهر المعروفه لدينا جميعاً وهي الزلازل والبراكين والحركات الأرضية .

وسنحاول أن ندرس كل هذه الظواهر بشيء من التفصيل حتى نقف على تأثير كل منها على سطح الأرض

الحركات الأرضية

وتنقسم الحركات الأرضية إلى نوعين أساسيين :-

ا - الحركات السريعة : وهى التى تحدث فى وقت قصير ويشعر بها الإنسان أو يرى آثارها الملموسة كالزلازل .

ب - الحركات البطيئة : وتتم فى زمن طويل جداً بحيث لا يشعر بها الإنسان ولكن من واقع الدراسة نقف على آثارها وما أدت إليه من تغيرات فى سطح الأرض كالحركات البانية للجبال والقارات .

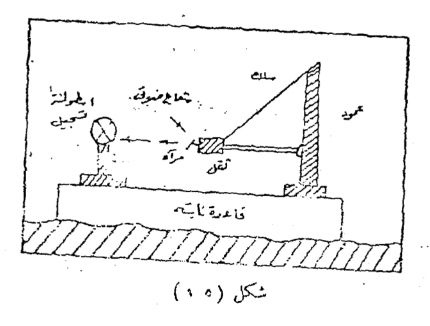
ا - الحركات السريعة :

الزلازل Earthquakes :

تعريف :- وهى اضطرابات ناجمة من أما إنفجارات بركانية وتسمى حينئذ زلازل بركانية أو نتيجة التشوهات أو تصدعات للقشرة الأرضية وتعرف باسم الزلازل التكتونية Tectonic Earthquakes والنوع الأخير هو الأكثر إنتشاراً كما أنه معروف بإحداث الخراب والكوارث .

والزلازل منها ما هو قوى وما هو ضعيف لا يحدث اضطرابا كبيراً فى القشرة الأرضية كما أن موجاتها لا تكون ذات عمق فى جوف الأرض .

وعند حدوث أى زلزال فى منطقة من المناطق فانه يكون أقوى ما يمكن فى منطقة المركز أى المنطقة التى تقع فوق البركان أو التصدع أو الانهيار مباشرة أما خارج هذه المنطقة فتضعف شدة الزلزال ويمكن تحديد مناطق دائرية كنطاقات أو أحزمة حول المركز تتساوى فيها شدة الزلزال وتعرف بخطوط أو حزام الزلزلة المتساوية الشدة .



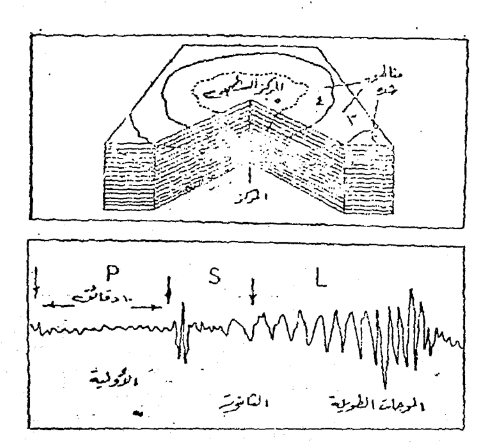
شكل (١٠٥)

السيزموجراف : Seismograph

والسيزموجراف هو عبارة عن الجهاز الذى يسجل أو يرصد الزلزال فى منطقة معينة وكما فى الشكل (١٠٥) يتركب السيزموجراف من قائم رأسى مثبت بإحكام فى قاعدة وتمتد من القائم ذراع أفقية يتدلى منها ثقلا معلق فى زمبرك مثبت به قلم يمس طرف ورقة مثبتة على أسطوانة تدول حول محور رأسى . فعندما تكون القشرة الأرضية فى حالة ثبات أو إستقرار فإن القلم يسجل خطاً مستقيما على الورقة المثبتة فى الإسطوانة أما إذا إهتزت القشرة الأرضية فإن الاسطوانة تهتز بالتالى ويسجل القلم خطاً متموجا يزداد مقدار تموجه أو أو يقل تبعا لشدة الزلزال أو الهزة الأرضية . وهذا الخط المتموج يعرف باسم السيزموجراف (Seismogram) كما فى الشكل (١٠٦)

ويمكن تمييز ثلاثة أنواع من الموجات فى السيزموجرام كما يلى :-

١ - الموجات الابتدائية : وهي أسرع الموجات وتعبر عن الموجات التضاغطية أى أنها تعبر عن جسيمات تتذبذب فى نفس إتجاه سريان الموجة.

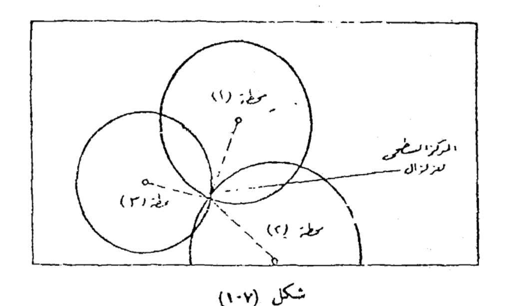


شكل (١٠٦)

٢ ـ الموجات الثانوية : وهي أقل سرعة ومستعرضة بمعنى أن ذبذبة الجسيمات تكون عمودية على إتجاه سريان الموجة .

٣ ـ الموجات الطولية : وهي التي تنتقل خلال القشرة الأرضية بالإنعكاس على سطحها العلوي والسفلي ولهـــا مسار متعرج ولذلك تصل إلى محطات الرصد متأخرة .

ولقد أمكن إيجاد علاقة بين وقت وصول الموجات المختلفة إلى محطات الرصد وبعد هذه الموجات عن منطقة مركز الزلزال وعلى ذلك فانه يمكن حساب مسافة بعد مصدر الزلزال من قراءات السيزموجراف .



شكل (١٠٧)

ولتعيين مواقع الزلازل بدقة فانه يلزم وجود ثلاث محطات للرصد على الأقل كما هو مبين فى الشكل (١٠٧) حيث أن تلاقى الثلاث دوائر الممثلة لمحطات الرصد هو عبارة عن مركز الزلزال نفسه .

اثر الزلازل :—

ومن بعض أمثلة الزلازل التى حدثت فى العالم يمكن الإستشهاد بأنه علاوة على ما تحدثه الزلازل من دمار للمنشآت والمبانى فانها تحدث فى القشرة الأرضية شقوق وفوالق ضخمة . مثال ذلك ما حدث فى اليابان أثر زلزال عام ١٨٩١ حيث تفلقت الأرض بطول ١١٣ كيلو مترا وهبط جانب من جانبي الفالق بمقدار يتراوح ما بين ستة أمتار وستون مترا كما أن الزحف الجانبي قد قدر بنحو أربعة أمتار و تكسرت أنابيب المياه والغاز وقطعت أسلاك الكهرباء على طول خط الفالق وحدثت من جراء ذلك الحرائق التى استحالت على مواسير المياه مكافحتها فكانت أكثر بلاء مما أحدثه الزلزال نفسه من دمار وهذا نفس ما حدث أيضا فى سان فرانسيسكو عام ١٩٠٦ .

وقد يكون مركز الزلازل تحت سطح البحر فتنتاب مياهه موجات جزر شديدة جدا تكتسح الشواطىء لمسافات بعيدة مثل ما حدث بالقرب من جزيرة جاوه عام ١٨٨٣ فلقد قذفت الأمواج بباخرة داخل الغابات المحيطة بالشاطىء وعلى بعد أربعة كيلو مترات منه .

ومن الجدير بالذكر ان سرعة سريان الزلازل أو الهزات الأرضية تختلف باختلاف نوع الصخور فهى حوالى ٣٠٠ مترا / ثانية فى الرمال المفككة بينما تبلغ ٣ كم / ثانية فى الجرانيت .

أسباب حدوث الزلازل : ـ

وأسباب حدوث الزلازل عديدة نذكر منها ما يلى : ـ

١ ـ سقوط الكهوف فى طبقات الحجر الجيرى مما يتسبب عنه تصدع بالصخور ومن ثم هزات أرضية .

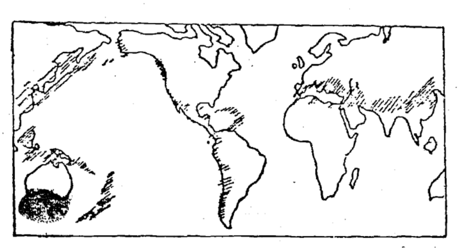
٢ ـ التفاعلات البركانية فى فترة النشاط البركانى وما يصاحبها من هزات أرضية متلاحقة فى مناطق واسعة تحيط بمكان البركان وليس معنى هذا أن كل الهزات الأرضية تحدث نتيجة للتفاعلات البركانية أو خروج الحمم من البراكين فهناك مناطق كثيرة تحدث بها زلازل وهى بعيدة كل البعد عن البراكين .

٣ ـ تقلصات القشرة الأرضية وما يتسبب عنها من انثناءات وتصدعات خاصة فى المناطق المتباينة التضاريس أى فى مناطق سلاسل الجبال العظمى .

٤ حدوث الفوالق الكبيرة كما سبق أن أشرنا مما يجعل القشرة الأرضية فى حالة عدم توازن حيث يؤدى انزلاق أو هبوط أجزاء كبيرة من سطح الأرض إلى عدم الاستقرار .

التوزيع الجغرافي للزلازل :ـ

هناك مناطق عديدة تحدث فيها زلازل ويشعر بها الناس إلا أنه وجد أن ثمة منطقتين رئيسيتين يغلب فيهما حدوث الزلازل العنيفة أحدهما تحيط بالمحيط الهادي والأخرى تمتد من شواطىء البحر الأبيض المتوسط الشمالية مارة بسلسلة جبال الألب والقوقاز والهيمالايا شرقا ممتدة إلى جزر الهند الشرقية وتعرف هذه المناطق بأنها غير مستقرة حيث لم تبلغ بعد حالة الثبات ودائمة التعرض للتصدع والانفلاق شكل (٧-١ ب)



شكل (٧-١ ب)

فوائد الزلازل :ـ

تعتبر التسجيلات الزلزالية أو دراسة السيزموجراف هي الوسيلة الوحيدة المعروفة للان لمعرفة التراكيب الداخلية للأرض . فكما ذكرنا أن سرعة الموجات الزلزالية تختلف باختلاف نوع الصخور ومن ثم فانه من الممكن معرفة أنواع الصخور المختلفة الموجودة فى باطن الأرض بدراسة سرعة انتشار الموجات الزلزالية المختلفة .

ولقد أدت هذه الدراسة إلى ترتيب الأغلفة الصخرية بالصورة الآتية :ـ

العمق		النوع
ــــ ١٠	كيلو مترا	صخور رسوبية
ــــ ١٠ ــ ١٥	كيلو مترا	صخور جرانيتيه ــ القشرة الأرضية (Sial)
ــــ ٢٠ ــ ٣٠	كيلو مترا	صخور بازلتية
ــــ ٢٨٥٠	كيلو مترا	صخور فوق قاعدية (بريدوتيت) السيما (Sima)
ــــ ٣٥٠٠	كيلو مترا	لب الأرض (Core)

ب ـ الحركات البطيئة :ـ

وهى كما سبق لنا تعريفها أنها الحركات الأرضية التى تحدث فى بطء شديد وعلى مدى أزمان جيولوجية متعاقبة بحيث أن ظواهرها أو آثارها تعرف للانسان من واقع الدراسة المختلفة مثل : ــ

١) وجود آثار لخطوط شواطىء قديمة موجودة الآن داخل القارات المختلفة .

٢) الشواطىء المرفوعة Raised beaches والتى تدل على حركات أرضية رافعة رفعت هذه المناطق الآن والتى كانت قديما شواطىء بحار .

٣) وجود الطبقات المحتوية على حفريات بحرية فى داخل القارات الآن مما يدل على ترسيب هذه الطبقات تحت سطح البحر فى وقت من الأوقات وانحسر عنها الآن . . : الخ .

أنواع الحركات البطيئة : ـ

وتقسم الحركات البطيئة إلى نوعين أساسيين تبعا لنوعها وما تحدثه من تغيير لسطح القشرة الأرضية .

أ - الحركات البانية للجبال Orogenic movements

وهى حركات أفقية الإتجاه وتتسبب فى تجعد وانثناء القشرة الأرضية وجعلها على هيئة جبال كما تنتج عنها التراكيب الجيولوجية المختلفة التى أشرنا إليها فى باب سابق (التراكيب الجيولوجية) مثل الطيات والصدع .. الخ .

ب — الحركات البانية للجبال Epeirogenic movements

وهى حركات رأسية الاتجاه وتتسبب فى رفع الأرض إلى أعلى أو إنخفاضها إلى أسفل مما يؤدى إلى تكوين قارات جديدة أو إزالة قارات قديمة ولا يصاحبها أى تصدع أو طيات .

أسباب الحركات الأرضية البطيئة : —

تعددت النظريات فى تفسير أسباب هذه الحركات الأرضية البطيئة ومن أهم النظريات التى ذكرت فى هذا الصدد ما يلى : —

١ — نظرية انكماش الأرض بالبرودة : —

وتتلخص فكرة هذه النظرية أن التجعدات والإنثناءات التى تحدث على سطح الأرض والمؤدية إلى تكوين الجبال إنما هى نتيجة لإنكماش جوف الأرض الذى يبرد بصفة مستمرة نتيجة لمرور الوقت منذ انفصال الأرض عن الشمس — وأنه لابد من أن يتغير سطح الارض ليلائم هذا الانكماش المستمر لجوف الأرض . وقامت دراسات عديدة فى هذا الشأن إلا أن القيمة المحسوبة لهذا الانكماش اختلفت عن القيمة المقدرة وبهذا اندثرت تلك النظرية والتى كانت من أولى أو اقدم النظريات التى وضعت لتفسر هذه الحركات الأرضية البطيئة .

٢ — نظرية توازن القشرة الأرضية :—

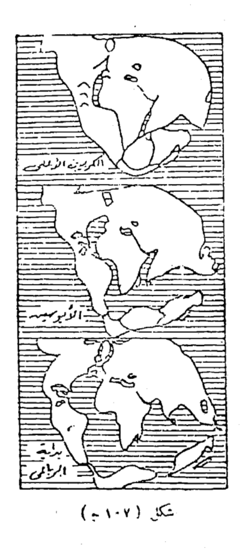
وتنص هذه النظرية على ضرورة إتزان جميع أجزاء القشرة الأرضية بمعنى أن تكون الصخور المكونة للجبال من مواد أخف من تلك التى تكون السهول وقاع المحيطات والبحار ويعرف هذا النوع من الاتزان بالتوازن الاستاتيكى ولقد أوضحت دراسات السيزموجراف صحة هذه النظرية بالاضافة إلى التجارب العملية والتى نذكر منها هذه التجربة :—

عند إحضار إنائين مملوءين بالزئبق ووضعنا فى الاناء الأول كتلا عمدانية من مواد تختلف فى كثافتها ولكنها متساوية فى الوزن والمقطع وفى الاناء الثانى كتلا من مادة النحاس مثلا (ذو كثافة واحدة) ولكنها مختلفة فى الأوزان والأطوال فنجد أن الكتل العمدانية فى الاناء الأول ستغوص فى الزئبق بنفس العمق أما فى الاناء الثانى فنجد أن الأعمدة ستغوص كل منها بما يتناسب مع طوله فالكتلة الطويلة ستغوص أكثر من القصيرة وهكذا .

وبما أن الصخور الأساسية فى القارات عموما تتكون من صخور الجرانيت وفى قاع البحار والمحيطات من صخور البازلت فلابد وأن تكون طبوغرافية الأرض تعتمد اعتمادا كليا على توازن الكتل القارية الجرانيتية مع الكتل البحرية البازلتية والتى تكون الأولى دائما على ارتفاعات أعلى .

٣ ـ نظرية تزحزح القارات Continental drift

وهى النظرية التى وضعها العالم الألمانى فجنر (Wegener) وملخصها أن الاضطراب المستمر فى توازن القشرة الأرضية ومن ثم بناء الجبال إنما يرجع إلى أن الكتل القارية ليست ثابتة فى اماكنها على مر العصور الجيولوجية وإنما فى حالة تزحزح مستمر فى اتجاهات معينة مما يؤدى إلى احتكاك بين الكتلة



شكل (١٠٧ جـ)

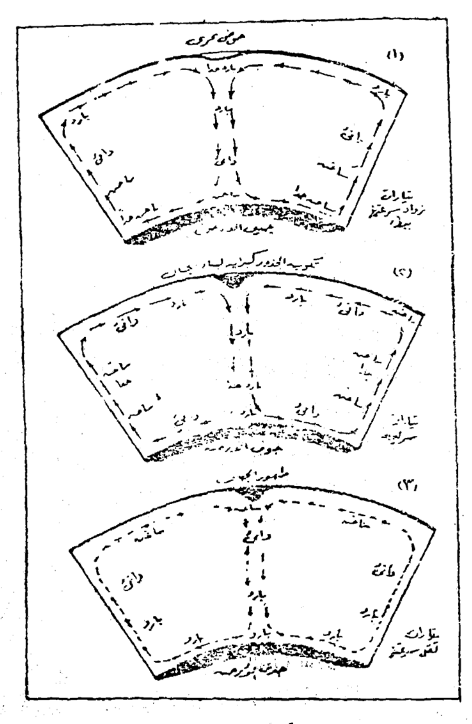
القشرية الصلبة وما ترسو عليه من مادة داخلية تغوص فيها . ولهذه النظرية تشجيع كبير لما دلت عليه الدراسات المختلفة وخصوصاً دراسة الحفريات علـى شاطىء المحيط الاطلسى الشرقى والغـربى شكل (١٠٧ جـ) .

٤ — نظرية تيارات الحمل :

: Convection current theory

دلت الدراسات المختلفة على وجود كميات من المواد المشعة فى منطقة ما تحت القشرة الأرضية. وأن هذه المواد المشعة تتفتت مصدرة طاقة حرارية هائلة تجعل صخور هذه المنطقة فى حالة ما بين الصلابة والسيولة «Plastic state» ومن ثم تنشأ تيارات فى هذه المناطق تشبه تيارات الحمل المعروفة فى السوائل الساخنة . كما فى الشكل (١٠٨) الموضح ونتيجة لقوى الاحتكاك والشد عند مواضع صعود هذه التيارات بالاضافة إلى قوى الجذب الاحتكاكي عن مواقع هبوط هذه التيـارات تضطرب القشرة الأرضية ممـا يؤدى إلى تجميدها على هيئة جبـال عالية تغوص فى منطقة ما تحت القشرة الأرضيـة مكونة جذور

تحت جبـال



شكل (١٠٨)

النشاط البركانى Volcanic activity

وتعرف جميع الظواهر التى تصاحب اندفاع المـواد الصهيريه من باطن الأرض إلى سطحها أو بالقرب منـه بالنشاط البركانى . والبركان فى تعريفه ماهو إلا حلقة اتصال بين الصهير الموجود فى باطن الأرض وسطح الأرض فاذا نجحت هذه المواد الصهيرية فى الوصول إلى سطح الارض فانهـا تسمى بالطفح أو اللافا Lava وعندصعودها تتصلد على السطح نتيجة للبرودة المفاجئة مكونة مايسمى بالصخور السطحية وقد سبق الـكلام عنها فى باب الصخور.

وهنـاك طريقان رئيسيان لاندلاع هـــذه المواد الصهيرية مـن باطن الأرض وهما :

١ ـ طريق البراكين المركزيه Centeral volcanoes

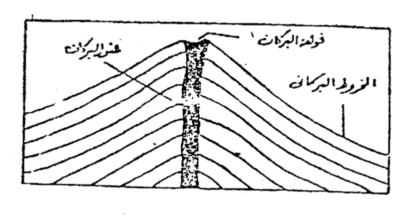
وهى عبارة عن البراكين ذات المخروط وقمع الفوهة .

٢ ـ طريق انبثاقات الشقوق Fissure Eruptiens

وهى براكين غير عنيفة أو لايصحبها عادة انفجارات ويخرج منها كميات هائلة من اللافا عن طريق الشقوق العميقة جدا فى القشرة الأرضية . وهى أقل انتشارا من البراكين المركزية .

البراكين : Volcrees

تخرج الحمم والمواد الصهيرية والمعدنية الموجودة فى جوف الأرض إلى السطح عن طريق فوهات البراكين ويتركب البركان شكل (١٠٩) من فوهة Crater وهي الفتحة التى تندفع منها الحمم البركانية والقصبة البركانية وهى المجرى الذى يصل بين جوف الأرض وسطحها وتكون عادة أسطوانية الشكل والمخروط البركانى وهـو الشكـل المخـروطى الـذى تصنعـه المواد الصهورة



شكل (١٠٩)

المتراكمة حول فوهة البركان ويشبه الجبل وقد يصل ارتفاعه إلى ستة كيلومترات مثل بركان كوتاباكس Cotapaxic بجبال الانديز فى جنوب أمريكا وبركان اتنا Etna بجزيرة صقلية والذى يرتفع حوالى ٣ر٥ كيلومترا من سطح البحر .

والبراكين منها ماهو ثائر دائما مثل بركان سترومبولى Stromboli بالجزر الإيطالية إذ تنبعث من فوهته الحمم المصهورة كل دقيقتين تقريبا ومنها ما هو متقطع النشاط يثور فى فترات غير منتظمة أو متقطعة هذا بالإضافة إلى أن كثيرا منها خامد .

وتسبق ثورة البركان عادة عدة ظواهر منها اهتزاز القشرة الأرضية وتشققها ثم انبعاث ابخرة ودخان مصحوبة بأصوات شديدة تشبه قصف المدافع الضخمة ثم يلى ذلك خروج الحمم والمصهورات المعدنية وتقذف تلك المصهورات لى أعلى بارتفاعات مختلفة تعتمد على قوة البركان نفسه أو تسيل تلك المصهورات من فوهة البركان وتتراكم حولها أو قد تسيل إلى مسافات بعيدة تبعا للزوجة المواد المنبعثة .

نواتج البراكين : Volcanic products

وتشتمل نواتج البراكين على صورة المادة المختلفة فهى أما غازية أو صلبة أو سائلة ومن أهم النواتج الغازية هو بخار الماء بكميات ضخمة جداً والذى يقذف لارتفاعات شاهقة مصحوباً عادة مع الغبار أو الرماد البركانى . هذا بالإضافة إي الغازات الأخرى مثل ك ا٢ ، يد كل ، يد ف ، يد٢ وتعزي الانفجارات التي تصاحب ثورات البراكين دائماً إلى اتحاد الغازات المختلفة والتى تحدث فرقعة مثل اختلاط الأوكسوجين والأيدروجين كما أن هناك بعض البراكين تقذف الغازات الكبريتية مثل يد٢كب ، كب ا٢.

أما الماء واللافا Lava فهما أهم المكونات السائلة للبراكين المختلفة . وتسيل اللافا على جانبى فوهة البركان إلى مسافات تختلف أطوالها بإختلاف مكونات اللافا . فاللافا القاعدية تكون أقل لزوجة من الحامضية التركيب وبالتالى فإنها تسيل لمسافات أطول بينما تتكوم الأخيرة .

وتبلغ سرعة حركة الحمم حوالي ٣٠كم / ساعة ولكنها سرعان ماتبرد بتعرضها لحرارة الجو العادي فتتحول إلي عجينة لزجة بطيئة الحركة وقد تبلغ درجة حرارة بعض الحمم وقت إندلاعها من فوهة البركان إلي حوالى ألف درجة مئوية .

وهناك ظواهر أخرى شبيهه بالبراكين ، بل ويطلق عليها بعض الدراسين براكين أيضا مثل :—

١ — البراكين الطينية Mud Volcanoes

وهى تلك المنبعثات الطينية التركيب والتى تنبعث من باطن الأرض مصحوبة بغازات كربونية أو هيدروكربونية ويكثر وجودها قرب حقول البترول مثل منطقة باكو على بحر قزوين بالاتحاد السوفيتى ومصدرها تلك الغازات المنبعثة مـن زيت البترول عندما تكتسح معهـا بعض الميـاه الجوفية المحملة بالرواسب الطينية وتظهر على هيئة نافورة من المياه الطينية .

٢ — الفوارات الحارة Fumeroles

وتشبه أيضا نافورات المياه وهى تقذف مياهها الحارة فى فترات متعظمة وأغلبها يكـون مصحوبا بمواد سيليسية أو مواد جـيرية سرعان ما تترسب حول فوهاتها .

٣ — العيون الحارة Hot springs

وهى عيون الميـاه الجوفية والتى تندفع من باطن الأرض وذات درجة حرارة مرتفعة وأحيانا تكون مشبعة بمواد معدنية مثل الكبريت أو الأملاح الأخرى وتندفع عـن طريق الشقوق أو أسطح الفوالق المختلفة وقـد يكون اندفاع المياه فيها قويا فتصبح فوارات حاره .

ومن الجدير بالذكر أن عدد البراكين على سطـح الأرض يقدر بحوالي ٣٠٠ بركان وهى على درجات متفاوته من النشاط .

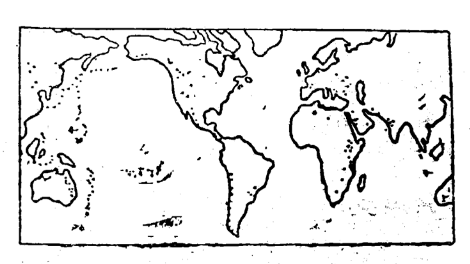
التوزيع الجغرافى للبراكين :

وتتركز البراكين فى العالم على حواف المناطق الهابطة هبوطاً سحيقاً كأحواض البحار والمحيطات أو فى تلك المناطق الضعيفة والمعروفة بكثرة وجود التصدعات والفوالق .

وتوزع البراكين حول حوض البحر الأبيض المتوسط ومنها براكين فزوف Vesuvius واتنا Etna وسترومبولى Stromboli وبعض البراكين الموجودة تحت مياه البحر عند جزر سانتوريون Santorian اليونانية وفى المحيط الاطلسى بجزيرة القديسة هيلانه وجزر الكناريا Canary islands وأيسلانده .

أما حول المحيط الهادى فتوجد البراكين بكثرة فى جبال الانديز بامريكا الجنوبية والمكسيك وفى الاسكا وكوريل وفى اليابان وجاوه شكل (١١٠) .

وهناك المئات من البراكين التى أصبحت الان خامدة منذ مئات السنين ولكنها تركت أثارها كوجود الحمم والرماد البركانى .



شكل ١١٠

أسباب حدوث البراكين :ـــ

وهناك أسباب عديدة لحدوث البراكين ذكرنا بعضها فى سياق الحديث عن النشاط البركانى بالإضافة إلى الاعتقاد السائد بأن تسرب مياه البحر إلى داخل الكرة الأرضية وتبخره عند وصوله إلى درجات الحرارة العليا تنتج عنه وجود ضغط هائل يسبب انفجارا فى القشرة الأرضية خاصة فى أماكن الضعف أى الفوالق والتشققات ... الخ .

أما النظريات الأخرى لتفسير حدوث البراكين فتتلخص فى ارجاعها إلى التفاعلات الكيميائية المختلفة التى تحدث فى جوف الأرض والتى تنتج عنها مركبات غازية تنتج ضغطا هائلا يؤدى إلى عدم أستقرار القشرة الأرضية وبالتالى تصدعها وانفلاقها ومن ثم اندفاع مافى الجوف من مواد صهيرية تقع تحت هذا الضغط الهائل ولو أنه حديثا جداً بدأ النظر إلى مايعرف بالمواد الاشعاعية الموجودة فى جوف الأرض وما يمكن أن يكون لها من تأثير على إنتاج طاقات هائلة تتسبب فى إندلاع المواد الصهيرية فى صورة ثورات ...

الجيولوجيا التاريخية Historical Geology

الجيولوجيا التاريخية هو أحد فروع علم الجيولوجيا الذى يهتم بدراسة تاريخ الأرض والتغيرات والحوادث التى مرت عليها منذ نشأتها حتى يومنا هذا. وتشمل الجيولوجيا التاريخية بجانب دراسة الصخور ، دراسة بقايا الكائنات الحية من حيوان ونبات (الحفريات) ومايحدث فيها من تطور ، ودراسة التراكيب الجيولوجية والتوزيع الجغرافى للبحار والقارات وكذا العوامل الداخلية والخارجية المؤثرة على القشرة الأرضية .

ولكل عصر مميزاته وملامحه الخاصة من الناحية الجيولوجية من حيث طبيعة صخوره والتراكيب المتواجدة عليها تلك الصخور ومن هذه الصفات مايمكننا من التعرف على ظروف البيئة الترسيبية القديمة التى سادت أثناء تكوينه ، فمثلا :

وجود طبقات من الحجر الجيرى العضوى والذى يحتوى على بقايا حفريات وأصداف لحيوانات بحرية يدل على الترسيب فى بيئة بحرية . أما صخور الكونجلوميرات وهى صخور رسوبية ذات حبيبات خشنة ومستديرة فإنها تدل على وجود بيئة شاطئية للترسيب . أما الرماد البركانى فيدل وجوده على نشاط بركانى سابق أدى إلى تكوينه . والرواسب الملحية تدل على وجود بحار مقفولة ساد بها البخر الشديد . أما وجود الرواسب الفحمية فيدل على بيئة المستنقعات التى سادت فيها النباتات والأشجار .

ويمكن التعرف على المناخ فى الأزمنة الغابرة من بعض المشاهدات الحقلية مثل : وجود التشققات الطينية التى تدل على المناخ الجاف والشديد الحرارة :

أما وجود الثقوب الصغيرة على سطح الصخور والمسماة « بآثار الأمطار » فإنه يدل على البيئة المناخية الممطرة .

ومن الصخور الرسوبية ما تحتوى على حفريات لكل منها الظروف البيئية اللازمة لمعيشتها . ومنها ماهو محدود العمر الجيولوجى ، وعلى ذلك من الحفريات يمكن التعرف على بيئة الترسيب القديمة وتاريخ وأعمار هذه الصخور الرسوبية الحاوية لتلك الحفريات .

ومن التراكيب الجيولوجية التى تتواجد فى منطقة ما يستدل منه على الظروف التى تعرضت لها تلك الصخور بعد ترسيبها وظهورها على سطح البحر فمثلا : وجود الطبقات المتقاطعة Cross bedding فى الأحجار الرملية يدل دلالة قاطعة على تأثير التيارات البحرية وكذلك علامات التماوج بأنواعها .

ويدل عدم التوافق على توقف الترسيب فى فترة زمنية معينة . أما وجود الطيات (الثنيات) والفوالق والفواصل (التراكيب الثانوية) فانه يؤكد حدوث حركات أرضية وماتبعها من ضغط وشد على الطبقات الرسوبية مما يعرضها للطى وقد تتكسر .

وقد توصل هاتون Hutton فى عام ١٧٨٥ إلى أن الصخور الموجودة فى عصر سابق بعد تكوينها تتعرض لعوامل داخلية وخارجية مؤثرة فى القشرة الأرضية تكسبها صفات ومميزات معينة ، فإذا وجدت هذه الصفات والمميزات فى صخور حديثة أمكن إستنتاج أن الصخور القديمة تعرضت لعمليات مشابهة ومماثلة لتلك الصخور الحديثة أى أن الحاضر مفتاح الماضى

Present is the key to the past,

السلم الزمني للارض Earth chronology

لترتيب الحوادث التاريخية ترتيباً زمنياً فانه لابد من عمل سلم زمني ينسب اليه الحوادث التاريخية . وكذا الحال في الجيولوجيا التاريخية فلابد من ترتيب الحوادث الجيولوجية وتتبعها وذلك بدراسة الصخور دراسة مستفيضة وخاصة الصخور الرسوبية للتعرف على الظروف التي أدت إلى تكوينها والعوامل التي أثرت عليها . ومن المعروف أن الطبقات الرسوبية تتميز بوجودها في طبقات متعاقبة — طبقة تلو الأخرى — قانون تعاقب الطبقات الذي إهتدى اليه العالم الانجليزي « وليم سميث » وينص هذا القانون على أنه في أي تتابع طبقي في الصخور الرسوبية بان كل طبقة تكون أحدث في تكوينها مما تحتها — أي أن الترسيب يبدأ بالطبقات القديمة ثم تتراص الطبقات الواحدة تلو الأخرى هذا إذا لم يحدث أن تتعرض تلك الطبقات إلى أي من الحركات الأرضية والتي تغير من وضعها بعد الترسيب (مثل الطي) .

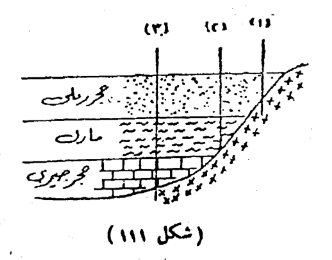
ومن المعروف أن لكل طبقة من الطبقات الرسوبية فترة ترسيب زمنية محددة فاذا أخذنا مثـــال لمنطقة ما ووجد بهذه المنطقة تتابع طبقي له نفس الترتيب ونفس السمك والصفات الصخرية لامكننا القـول بأن ظروف الترسيب في المنطقة الأولى هو نفسه في المنطقة الثانية وهكذا في منطقة ثالثة ورابعة . وتسمى عملية ربط الطبقات المتشابهة في السمك والصفات الصخرية (اللون والنسيج ... الخ) بعملية التوافق أو الترابط الحجرى Lithologic Correlation لأننا أعتمدنا أساسا على الصفات الصخرية وعلى ذلك فان تعاقب الحوادث الجيولوجية في هذه المناطق المتوافقه حجريا واحدا ، أو بمعنى آخر أن السلم الزمني واحد

ولعمل مضاهاة أو سلم زمني على أساس الصفات الصخرية فانه يجب الحذر وخصوصاً أننا نتعامل مع الصخور الرسوبية والتي تختلف عن بعضها إختلافاً شديداً من مكان لآخر .

ومن عيوب الطريقة الصخرية أو التوافق الحجري :—

١ التخطي Over lap :

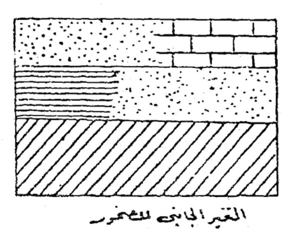
ويحدث هذا على حواف الأحواض الترسيبية حيث تتخطى كل طبقة ماتحتها من طبقات وذلك عند حدوث انخفاض لمنسوب البر بالنسبة للماء . فاذا اقتصر الدارس (الجيولوجي) على دراسة المقطع في الاتجاه (١) فانه بذلك لا يدخل في حسابه فترة الترسيب للمارل والحجر الجيري وإذا إقتصرت دراسته على المقطع (٢) فانه في هذه الحالة لم يدخل في حسابه فترة ترسيب الحجر الجيري وعلى ذلك لن يكون تاريخه الزمني لهذه المنطقة قيمة إلا في المقطع (٣) شكل (١١١) .



(شكل ١١١)

٢ — التغيرات الجانبية للصخور : Lateral variation

وهو التغير في صفات صفة واحدة من جزء إلى آخر فمثلا إذا تتبعنا طبقة

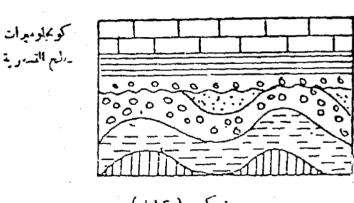


شكل (١١٢)

رملية وجدنا أنها تتغير تدريجيا إلى طبقة طينية أو جيرية (شكل ١١٢) والسبب في ذلك أنه نتيجة عوامل التعرية فقد تتعرى بعض الطبقات ويتبع ذلك تكوين وادى ثم تترسب بعد ذلك فى هذا الوادى رواسب نهريه ، ويجب على الجيولوجى أن يلاحظ التغيرات الجانبية بوضوح حتى لايقع فى أى شك أو قد يخطىء البعض ويفسر هذا التغير الجانبي أنه نتيجة لوجود فالق .

٣ — عدم التوافق Uncon formitics

وهو وجود مجموعتين من الصخور بينها سطح تعرية نتيجة لتوقف الترسيب بين المجموعتين لفترة زمنية معينة ويحدث عدم التوافق كما ذكرنا سابقاً نتيجة لترسيب مجموعة من الطبقات ثم إنحسار البحر عن هذه الطبقات نتيجة لتأثير حركة أرضية (بانية للقارات) وتتعرض هذه الطبقات بعد ذلك لعوامل التعرية التى تزيح جزءاً منها مكونة بذلك سطح التعرية . وبحركة أرضية أخرى يغطي البحر هذه الطبقات مرة أخرى ثم يرسب المجموعة الأخرى من الصخور . (شكل ١١٣) . يجب على الجيولوجى أن يلاحظ عدم التوافق



شكل (١١٢)

حتى لا يقع في خطأ عدم حسب فترة توقف الترسيب والتي تعرضت خلالها الصخور لعوامل التعرية .

مما سبق يتضح أنه يجب البحث عن طريقة أخرى لعمل السلم الجيولوجي . وقد استعان الجيولوجيون بعلم الحفريات Palaeontology وهو دراسة بقايا الكائنات الحية من أجزاء صلبة مثل المحارات وهياكل المرجان وعظام الحيوانات الفقارية أو آثار وإفرازات الكائن الحي .

وهناك من الحفريات ما يسمى بالحفريات المرشدة أو الدليلية Index fossile والتي تتميز بعمر جيولوجي قصير وإنتشار جغرافي واسع وهذه الحفريات المرشدة يستعان بها في وضع السلم الزمني وتقسيمه إلى أحقاب وعصور وذلك بتتبع التغيرات في نوع ما أو عدة أنواع من هذه الحفريات .

ومن المعروف أن المملكة الحيوانية تنقسم إلى :

أ — اللافقاريات Invertebrata وتشمل

١ — الحيوانات وحيدة الخلية Protozoa.

٢ — الأسفنجيات Porifera.

٣ - الجوفمويات Coelenterata

٤ - الديدان Vermes

٥ - الشوكيات الجلدية Echinodermata

٦ - الأذرعقدميات Brachiopoda

٧ - الرخويات Mullusca

وتشمل : القواقع Gastropoda والرأسقدميات Cephalopoda والمحارات Lamellibranchiata

٨ - المفصليات الأقدام Arthropoda

ب . الفقاريات Vertebrata وتشمل :

١ - الأسماك Fishes

٢ - البرمائيات Amphibia

٣ - الزواحف Reptilia

- الطيور Birds

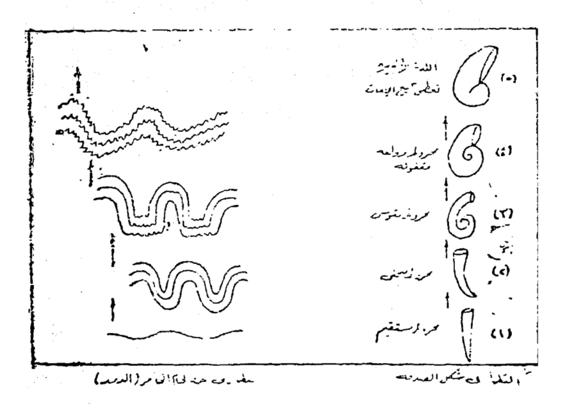
٥ - الثدييات Mammals

الطريقة الحفرية (الباليونتولوجية):

لو درسنا مثال فى مجموعة الرخويات - فصيلة الرأسقدميات يسمى تيوتيلى Tutlius لإستخدامه فى عمل السلم الزمنى ولاحظنا التطور فيها فإننا نجد أن الحيوان يعطى لنفسه صدفة مخروطية الشكل وكلما كبر الحيوان أضاف جزءاً آخر إلي هذا المخروط وانتقل إلى هذا الجزء تاركاً وراءه خط أو قاطع يحجز به الجزء الخلفى ويترك هذا الحاجز أثره علي حوائط المخروط

الداخلية على هيئة خط يسمى خط لحام الحاجز Scptal suture . وهناك تغيرين واضحين فى

أ ـ شكل الصدفة في الطبقات الرسوبيه المتتابعه ب ـ شكل خط لحام الحاجز أ ـ شكل الصدفة : إذا تتبعا التغير فى شكل الصدفة نجدها على شكل مخروط مستقيم (١) وذلك فى الطبقات السفلى (القديمة) أما إذا فحصنا الصدفة فى طبقات أعلى (أحدث) وجدنا أن الصدفة بدأت فى التقوس بعض الشىء (٢) ثم يزداد تقوسها أكثر حتى تصبح الصدفة على هيئة مخروط ذو لفة مفتوحة (٣) ثم صدفة محكمة اللف (٤) حتى تصل صدفة الحيوان التى لفت لفا محكما بحيث تغطى اللفة الأخيرة كل اللفات السابقة (٥) شكل (١١٤)



شكل : ١١٤)

ب — خط لحام الحاجز Septal suture : لقد وجد أنه بجانب التغيرات في شكل الصدفة على مر العصور الجيولوجية فان هناك تغيرا أو تطورا آخر في خط لحام الحاجز (الدرز) . فني الطبقات الأسفل نجد أن أصداف الحيوان لها خط لحام حاجز به تمـــوج بسيط يسمى خط لحام حاجز وتيلى Nautilitic septa . وفي الطبقات الأعلى يصبح خط لحام الحاجز أكثر تموجا ويسمى جونياتيتي Goniatitic وبتتبع الطبقات إختفت أنواع النوتيلي وتبقى بعض أصداف ذات حواجز نوتيلية ولكن ظهرت مجموعة حديثة لها خط لحام يسمى بخط اللحام السيراتيتي Ceratitic حيث تظهر فيها تموجات في الجزء الخلفي من خط الحواجز . وفي طبقات أعلى وأحدث بكثير من السابق أختفت الأصداف ذات الخط السيراتيتي وكثرت أصداف لها خط لحام حاجز أكثر تعقيدا ويسمى بالخط الأمونيتي Ammonitic وبعد ذلك نجد أن الأصداف المعقدة لم يصبح لها أثر في الطبقات الحديثة حيث يدل ذلك على إنقراضها (باستثناء عدد قليل من أصداف ذات خطوط نوتيلية بدائية) شكل (١١٤) .

ومن هذا المثال يتضح أنه من تطور الحيوان وإنقراضه بعد ذلك في فترة زمنية تقدر بملايين السنين يمكن تقسيم هذه الفترة إلى عصور على أساس فترة التغير في شكل الصدفة وشكل خط اللحام . وقد وجد أن هذا التغير وجد بنفس التتابع في جميع أجزاء الكرة الأرضية . وعلى ذلك فباستعمال هذه التغيرات أمكن عمل سلم زمني ينطبق على جميع أجزاء الكرة الأرضية (بعكس الطريق الصخرية المحدودة) .

التطـور Evolution

من التاريخ الجيولوجى للكرة الأرضيه و كما يتضح من دراسة الصخـور الرسوبية وما تحتويه من حفريات فان أى . تغير فى ظـروف البيئة الطبيعيـة يتبعه تغـير من الناحية العضوية للحيوان والنبات وذلك كى يلائم أو يتكيف للبيئة الجديدة Adaptation وتهتم الجيولوجيا التاريخية بدراسة هذا المنطق سواء من الناحيـة العضوية (الحيوانات والنباتات) أو من الناحية الغير عضوية (البيئة) والذى يحدث للكرة الأرضية منذ نشأتها حتى عصرنا هذا . والأمثلة على التطور كثيرة منها :

١ – الحصان المعروف اليوم به حافر (أصبع واحد) قـد إنحـدر عن الحصان القديم (ذو الستة أصابع) .

٢ – الفيل العادى إنحدر من الماموث Mammoth (الفيل القديم) .

٣ – الإنسان الحالى بجميع أجناسه الحالية بدأ متطـورا عن الإنسـان القديم أو إنسان العصر الحجرى .

ومنـذ بدء التاريخ الجيولوجى فان الحيـاة تطـورت بأكملها حيث بدأت بصورة بدائية جـدا كالنباتات وحيدة الخليـة وشوكات الاسفنج ثم بدأت اللافقاريات البسـيطة فى الظهور فى أوائل الحقب القـديم والفقاريات البدائية كالاسماك البدائية فى منتصفه وفى أواخر هذا الحقب ظهرت البرمائيات متطورة من الأسماك . وفى الحقب المتوسط سادت الزواحف . أما فى الحقب الحديث فظهرت الطيور والثدييات متطورة من الزواحف حتى بداية الحقب الرابـع العصر البلايستوسينى فظهر الإنسان

الأدلة على التطور Evidences of Evolution : من أهم الأدلة على التطور ما يلى :

١ - الدليل الجيولوجى Geological evidence : إذا تتبعنا التغيرات التى تطرأ على الفصائل والمجموعات المختلفة على مر التاريخ الجيولوجى نجد أن هناك تطورا . حيث تصبح الأجناس المختلفة أكثر تعقيدا على مر العصور فى الناحية البيولوجية ويكون فى العادة التطور تقدميا Progressive وقد يحدث أن ينعكس التطور أحيانا ويسمى التطور تقهقريا Retrogrcesive .

٢ - الدليل التشريحى Anatomical Evid. : إن التشابه التشريحى فى هياكل وعظام وأعضاء مجموعة الحيوانات الأوائل التى تحتوى على الأنواع المختلفة من القردة بالاضافة إلى الإنسان يعتبر دليل على أن هذه المجموعة المتشابهة قد إنحدرت متطورة من أصل أقل منها فى التطور .

٣ - الدليل الجنينى Embryological evidences : يبدأ تاريخ حياة الكائن الحى بخلية واحدة ثم تمر فى سلسلة من التطور حتى مرحلة البلوغ وهذه السلسلة المتتابعة من التغيرات فى حياة الفرد Ontogeny تكرر التغيرات التى حدثت فى تاريخ حياة الجنس لهذا الفرد Phylogeny أى أن تاريخ حياة الفرد يكرر تاريخ حياة جنسه Ontogeny Recapitulate phylogeny . ويسمى هذا القانون باسم Law of Recapitulation :

أسباب حدوث التطور : Causes of Evolution

١ - التغيرات الوراثية Heriditable Variations : وهى إختلافات طفيفة بين أفراد النوع الواحد وقد تظهر نتيجة لتغيرات تحدث فى الخلايا الجنسية

للكائنات والتى قد تؤدى بعد فترة من الزمن إلى ظهور أنواع جـديدة من هذه الكائنات .

٢ - الإنتقـاء الطبيعى Natural Selection : من قوانين الطبيعة أن البقاء للاصلح ولذلك فانه لا يبقي أو يعيش إلا النبات والحيوان الذى يستطيع أن يتكيف ويتحمل ظروف البيئة التى يعيش فيها . ولذلك فقد يطرأ على الفـرد تغيرات يكتسبها لكى تساعده على المنافسة من أجل البقاء . وإذا أمكن توريث هذه التغيرات فان السلالات الجديدة تصبح أكثر تكيفا لظروف المعيشة الصعبة وتصبح أصلح للبقاء .

٣ - تأثير البيئة Influence of Environment : قد يحدث التطور نتيجة للتغير الشامل فى البيئة فقد تصبح البيئة بحرية بعد أن كانت قارية أو العكس أو قد يغطى الجليد أو الطفوح البركانية مساحات من الأرض . ويقابل هذه التغيرات الطبيعية للبيئة تغيرات أخرى فى النباتات والحيوانات نتيجة لتغير المناخ ومصدر الطعام . وعادة قد يصحب تغير البيئة تغيرات وراثية يمكن للحيوان والنبات من التكيف للظروف الجديده وإلا فمصيرهـا الهلاك أو الانقراض .

اقسام التاريخ الجيولوجى للكرة الأرضية

أمكن تقسيم التاريخ الجيولوجى للكرة الأرضية منذ ظهور الأحياء حتى الآن إلى ثلاثة أحقاب بالاضافة إلى حقب ما قبل الحياة (منذ بدء تكون الأرض من الشمس)

الحقب	العصـــــور		الحياة المميزة
حقب ما قبل الكامبري Pre-Cambrian	البروتيروزوى	Proterozoic	بقايا من
	عصر الأركي	Archaeozoic	الاسفنج والاعشاب
	عصر الايوزوكى	Eozoic	البحرية
حقب الحياة القديمة Paleozoic Era or حقب الحياة الأولى Primary	إلبيرمى	Permian	البرمائيـــة
	الكربونى	Carboniferous	النباتات الارضية
	الديفونى	Devonian	الاسماك
	السيلورى	Silurian	اللافقـــاريات
	الأردوفيسى	Ordovician	وأول ظهور
	الكامبرى	Cambrian	حفريات كثيرة

الحقب	العصور			الحياة المميزة
حقب الحياة المتوسطة Nesozoic Era أو الثانى Secondary	الطباشيرى (الكرنياوى)	Cretnceous		
	الجوراس	Jurassic		الزواحف
	الترياس	Triassic		
حقب الحياة الحديثة Cenozoic	الحديث	Holocene	Quaternary الرابع	انسان العصر الحديث
	البلايستوسينى	Pleistocene		انسان العصر الحجرى
	العصر البلايوسينى	Pliocene	Tertiary الثالث	
	العصر الميوسينى	Miocene		الحيوانات القديمة والنباتات المزهرة
	العصر الأوليجوسينى	Oligocene		
	العصر الايوسينى	Eocene		
	العصر الباليوسينى	Paleocene		

أولا : حقب ما قبل الكامبرى Pre-Cambrian Era

تكاد تنعدم الحياة فيه حيث أنه لم يوجد أى دليل مباشر على وجودها. والسبب فى ذلك الظروف الطبيعية التى لم تكن مناسبة لوجود الحياة على الأرض حيث كانت معظم صخورها ملتهبة وفى حالة منصهرة.

ثانيا: حقب الحياة القديمة (الحقب الأول) Palaeozoic Era .

ويتميز بوجــود الحفريات اللافقارية مثل مثلثة الفصوص Trilobita والمرجيات. وقد تميز العصر الكربونى بكثرة الغابات والنباتات الأوليـة ولذلك تكون الفحم الذى وجد فى طبقات هذا العصر . وفى منتصف الحقب الباليوزى ظهرت الأسماك ، أما فى أواخره فقد ظهرت الحيوانات البرمائية.

ثالثا : حقب الحياة المتوسطة Mesozoic Era :

وفيه سادت الزواحف ذات الأحجـام الكبيرة مثل حيوان الديناصور ، كما تميز بانتشار الحيوانات اللافقارية. وفى منتصفه ظهرت الطيـور كما بدأت الثدييات فى الظهور متطورة من الزواحف.

رابعا : حقب الحياة الحديث Cenozoic Era: وينقسم إلى:

١ ـ الحقب الثالث Tertiary : وفيه سادت الثدييات والنباتات المزهرة وزاد تطورها.

٢ ـ الحقب الرابع Quaternary : وهو الذى نعيش فيه اليـوم وفى

الحلقات الترسيبية فى تاريخ مصر الطبقى

Sedimentary Cycles

(١) حلقة الباليوزوى ـ الميزوزوى (النوبية) Palaeozoic Cycle

(Nubian Cycle) وتمثل هذه الحلقة أساسا بالصخور الرملية والقارية أو الشاطئية . وقد بدأت هذه الحلقة وانتهت فى أماكن مختلفة . وقد تخللها بعض حركات للبحر ممثلة ببعض الصخور الرسوبية البحرية المحتوية على حفريات من الكمبرى - الكربونى — الترياسى - الجورى — والطباشيرى الأسفل.

(٢) حلقة ما قبل الميوسين : Pre-Miocene Cycle

وتمثلها رواسب بحرية كثيرة وكبيرة السمك من الحجر الجيرى لعصور الطباشيرى الأوسط والعلوى والايوسين .

(٣) حلقة مابعد الأوليجوسين Post Oligocene Cycle

وتتمثل فى الصخور المفككة المختلفة من الرواسب الميوسينية فى الشمال ورواسب الجبس والأنهدرايت فى الشرق أما العصر البلايوسينى فيتمثل بالرواسب الجيرية والسليسية .

موجز لتاريخ مصر الجيولوجى

توجد فى كل مكان فى صحارينا المختلفة تكاوين ورواسب بحرية بها حفريات حيوانات بحرية وهذا يدل على أن البحر تقدم من الشمال وطغى على مصر عدة مرات خلال العصور الجيولوجية الغابرة نتيجة لحدوث حركات أرضية عمودية متعاقبة . وفى كل مرة كان البحر يرسب طبقات عشر من

العصور ثم ينسحب راجعا لمكانه الأصلى ، ثم يتقدم ثانية مرسبا طبقات عصر آخر وهكذا .

وهناك عصور لم يتقدم البحر على الأراضى المصرية فكانت رواسبها كلها قارية . وفيما يلى موجز لطبقات كل عصر .

الحقب الريكامبرى Pre-Cambrian

توجد صخور الريكامبرى فى مصر على شكل سلاسل جبلية وتمثل ٢٠٪ من المساحة السطحية لمصر . وتمتد هذه الصخور بالصحراء الشرقية من حدود السودان جنوبا حتى خط عرض ٢٠ ، ٢٠° شمالا . وكذلك فى المثلث الجنوبى لشبه جزيرة سيناء وبعض المناطق الجنوبية فى الصحراء الغربية وكذلك فى منطقة أسوان حيث تعترض مجرى النيل . ولقد حظى هذا الحقب بدراسة مستفيضة فيم يختص بتصنيف هذه الصخور . وفيما يلى أحد هذه التقسيمات .

١ (الأقدم) النيس والشست القديمة والمتبلورة ومن أشهر هذه الصخور جرانيت أسوان .

٢ - السربنتين والدوليريت .

٣ - اردواز وشست و كونجلوميرات .

٤ - صخور بركانية وبورفيريت .

٥ - دايوريت وجابرو .

٦ - جرانيت وردى ورمادى وجرانودايوريت .

٧ - (الأحدث) عروق الدوليريت والفلسيت .

وأهم المعادن الاقتصادية التابعة بعصر البريكامبرى هى

١ ـ رواسب الحديد المتحولة (جنوب القصير والصحراء الشرقية) .

٢ ـ رواسب الكروميت بصخور السربنتين بالبراميه بالصحراء الشرقية .

٣ ـ الاسبستوس بالحمافيت .

٤ ـ الزمرد . جنوب الصحراء الشرقية .

٥ ـ عروق المرو الحاملة للقصدير والتنجستين والمولبدنوم وتوجد فى أماكن متفرقة فى الصحراء الشرقية .

٦ ـ عروق المرو الحاملة لمعدن الذهب بالصحراء الشرقية .

حقب الحياة القديمة (الباليوزوى)

لقد ظل القطر المصرى فى هذا الحقب معرضا لعوامل التعرية فلم يتقدم البحر ليغمره إلا قليلا ، وتتمثل أقـــدم صخور هذا الحقب بصخور عصر الكامبرى والتى وجدت تحت السطح فى منطقة (جب عافيه فى الجزء الشمالى من الصحراء الغربية ويوجد به حفريات بحرية وقد وجدت صخور متشابهة فى أماكن أخرى ولكن بدون حفريات .

وفى عيون موسى وجدت صخور تابعة للعصر الديفونى . وقد وجدت رواسب بحرية بعد ذلك تنتمى إلى العصر الفحمى وكان ذلك مقصورا على المساحات الصغيرة الآتية :

(١) أواسط شبه جزيرة سيناء وفوق قمم جبال الجرانيت جنوب غرب شبه الجزيرة عند منطقة أم بجمه شرق سيناء وأبو زنيمه على خليج السويس وصخورها عبارة عن :

ـ حجر رملى علوى ـ ١٥ متر به آثار نبات .

الحجر الجيرى ٤٠ متر بها حفريات من المرجان .

الحجر الرملى ١٣٠ متر خالية من الحفريات .

(٢) وادى عربة بالصحراء الشرقية قرب خليج السويس وتشبه الطبقات فى هذه المنطقة مثيلتها فى شبه جزيرة سيناء .

وقد وجدت معادن اقتصادية فى هذه الصخور فى سيناء مثل الحديد والمنجنيز وكذلك توجد كميات بسيطة من معادن النحاس والتركواز فى الحجر الرملى على هيئة عروق صغيرة .

ولم توجد صخور تنتمى إلى العصر البرمى حتى الآن ولكن ربما يتمثل هذا العصر بجزء من الحجر الرملى الخالى من الحفريات . ويبدو أن الارتفاع التدريجى للارض الذى بدأ مع نهاية العصر الفحمى استمر خلال العصر البرمى وكل الأراضى المصرية فى خلال هذا الزمن كانت غير مغطاه بالمياه .

وقد وجد فى منطقة خليج السويس رسوبيات تنتمى إلى عصور ما قبل الكربونى فى عدد من الآبار مثل الصخور الرملية السميكة التى توجد تحت صخور العصر الكربونى فى الغردقة .

حقب الحياة الوسطى Mesezoic

توجد رواسب هذا الحقب ممثلة فى مصر إبتداء من العصر الترياسى حتى العصر الطباشيرى وأكثرها إنتشاراً هى رواسب العصر الطباشيرى وأقلها هى رواسب العصر الترياسى .

العصر الجوراسى [illegible] : يوجد ممثلا بصخور سمكها حوالى ١٥٠

[illegible] جنوب شرق مدينة العريش بشبه جزيرة سيناء

وتوجد هذه الرواسب البحرية فى منطقة « عريف الناقة » على شكل قبو يتأثر بغوالق تحتوى على حجر جيرى فى الغالب مختلطا بالطفل والمارل والحجر الرملى وتحتوى على حفريات كثيرة . وقد وجد أيضا رواسب هذا العصر تحت السطح ، فى بعض آبار البترول مثل بئر جبل عتاقة رقم (١) الحمراء رقم(١) وعيون موسى :

(٢) العصر الجوراسى Jurassic Age :

وتوجد الصخور الممثلة لهذا العصر على السطح فى منطقتين : (١) شمال سيناء فى جبل المغارة وريزان عيزة وجبل المنشرح (٢) فى الصحراء الشرقية فى شمال جبال الجلالة البحرية والسخنة ورأس العبد قرب شاطىء خليج السويس .

ويمثل رواسب هذا العصر من الصخور فى طبقات من الحجر الرملى تتخللها طبقات من الحجر الجيرى والطفل وتحتوى على حفريات كثيرة مماثلة للحفريات التى وجدت فى التكوين الجوارسى بأوربا .

وقد وجد أيضا رواسب لهذا العصر تحت السطح فى أماكن كثيرة لشمال ووسط سيناء وخليج السويس وفى الصحراء الغربية . وقد أمكن استنتاج بعض الظواهر التى حدثت خلال هذا العصر منها أن هذه الرواسب توضح أنها تكونت فى بحر متبادل بين العمق والضحولة . وأن هذا البحر تقوم وإنحسر على فترات متقطعة على الأراضى المصرية : ولقد وصل تقدم البحر على فترات متقطعة فى الشمال حتى وصل الجلالة حيث تمثل أقصى تقدم للبحر ناحية الجنوب .

(٣) العصر الطباشيرى Cretaceous Age

وتغطى صخور هذا العصر حوالى ٣١٪ من مساحة الأراضى المصرية وتعتبر من أهم التكاوين الجيولوجية فى مصر . وتظهر على السطح فى مساحات واسعة بالصحراء على جانبي وادى النيل والجزء الشمالى لشبه جزيرة سيناء والصحراء الشرقية والغربية .

وتتكون الطبقات السفلى فى معظم الأماكن بمصر من الحجر الرملى النوبى وهى عبارة عن طبقات من الحجر الرملى تعلو عادة الصخور النارية والمتحولة القديمة (البريكامبرى) فى شمال السودان والجزء الجنوبى من القطر المصرى وحول هذه الصخور القديمة فى الصحراء الشرقية كما أنه تظهر فوقها فى شبه جزيرة سيناء وتدل صفات هذا الحجر الرملى على أنه تكوين قارى ناتج عن تفتيت الصخور النارية القديمة وهو خال من الحفريات إلا من بعض أوراق الشجر التى يستدل على تبعيته للعصر الطباشيرى ولكن فى كثير من الأماكن لاتوجد به حفريات بالمرة ولذلك فان عمر هذا التكوين يمكن أن يتبع أى عصر بعد العصر الكربونى وحتى الطباشيرى وقد تم حديثا اكتشاف بعض المناطق التى توجد بها رواسب بحرية تنتمى إلى هذا العصر .

أما الطبقات العليا فتتكون من الطفل والصخور الجيرية والطباشيرية غنية بحفرياتها من القنافذ البحرية والمحارات البحرية . وهذه الطبقات تعلو الحجر الرملى النوبى وتمتد من الواحات الداخلة بالصحراء الغربية إلى وادى النيل قرب إدفوا ، ثم ، فى الصحراء الشرقية إلى البحر الأحمر . أما فى شبه جزيرة سيناء فتمتد فى مساحات واسعة بهضبة التية وتظهر هذه الطبقات على هيئة قبو عند جبل أبو رواش شمال أهرام الجيزة

حقب الحيا الحديثة Cenozoic Era

القسم الثلاثى Tertiary

(١) العصر الإيوسينى Eocene Age

وتمثل صخور هذا العصر ١٩٪ من الأراضي المصرية ويبلغ سمكها حوالى اكثر من ١٠٠ متر وتوجد صخور هذا العصر ممتدة على جانبي وادى النيل من القاهرة حتى قنا ومنها تتكون الهضاب المتسعة فى الجزء الشمالى من الصحراء الغربية والشرقية وشبه جزيرة سيناء .

والطبقات العليا وهى عبارة عن طبقات طينية رقيقة تتخللها طبقات رملية وطفلية وتحتوى جميعها على أنواع مختلفة من الحفريات المحارية . وتغلب فى هذه الطبقات أن تكون صفراء اللون أو حمراء اللون نتيجة لاختلاطها بالمغرة (أكاسيد الحديد) وتوجد هذه الطبقات فى الأجزاء العليا من جبل المقطم الذى يرى أسفله ناصع البياض وقمته سمراء اللون مائلة للاحمرار .

ومن دراسة صخور التكوين الإيوسينى والحفريات الموجودة بها استنتج أن طبقاته السفلى ، تكونت فى بحار عميقة بينما الطبقات العليا وهى صخور رملية أو طينية تحتوى على حفريات تدل على رسوبها قرب الشواطىء . ويفهم من ذلك أنه كانت هنالك حركة أرضية بطيئة أدت إلى رفع قاع البحر تدريجيا وباستمرار هذه الحركة تراجع البحر شمالا وترك الأراضى المصرية جافة فى العصر التالى (الأوليجوسين).

(ب) العصر الأوليجوسينى Oligocene Age

وصخور هذا العصر عبارة عن حصى ورمال رسبت على شواطىء

البحيرات والأنهار والمستنقعات الداخليه وقد تحتوى بعض هذه الرواسب على بقايا أشجار متحجرة وبتأثير عوامل التعرية تنقل الرمال وتبقى الاشجار المتحجرة ملقاة على السطح كما فى الغابات المتحجرة على بعد بضعة كيلومترات شرقى العباسية حيث ترى كثيرا من سيقان الأشجار محتفظة بتركيب اليافها الدقيق حتى أنها لتشبه الخشب فى شكلها الخارجى إلا أنها مركبة من مادة سليسية بدلا من مادتها الخشبية الأصلية . وقد حلت السيلكا محل مادة الخشب أثناء عملية الإحلال . ولقد جاءت المياة المعدنية السيلسية إلى السطح نتيجة لتفجير عيون حارة أثناء النشاط البركانى الذى حدث فى نهاية هذا العصر وأدى إلى تكوين الطفوح البركانية المعروفة عند أبى زعبل .

وتوجد رواسب غنيه بالحديد (هماتيت) فى الواحات البحرية بالصحراء الغربية ونتجت هذه عن الترسيب والاحلال بصخور الحجر الجيرى والعمر ليس بالتأكيد أوليجوسين ولكنه على العموم فى الفترة مابين الأوليجوسين والميوسين .

(ح) العصر الميوسينى : Miocene Age

تكونت صخور هذا العصر أثناء هبوط الجزء الشمالى من الأرض المصرية فغمرتها مياة البحر فى ذلك العصر . وهذه التكاوين الميوسينية ممتدة فى شمال الصحراء الغربية من البحر الأبيض المتوسط حتى حافة المنخفض الكبير الذى تقع فيه واحات سيوه ومنخفض القطارة وهى طبقات من أحجار جيرية وطفل غنية بحفرياتها .

[illegible] على سطح الأرض على امتداد الطريق من القاهرة

والسويس فى خليج السويس وكذلك [illegible] خليج السويس والبحر الأحمر إلا أنها فى الجزء الجنوبى من هذه المنطقة الأخيرة تختلف فى تركيبها عما وصفنا إذ تكثر بها طبقات الجبس والطفل وفى بعض الأماكن يصحب الجبس طبقات سميكة من ملح الطعام . وفى هذا دليل على إنتشار بحيرات مالحة على إتصال بالبحر الأحمر من عصر الميوسين .

(ى) العصر البليوسينى : Pliocene Age

توجد تكاوين هذا العصر فى وادى النيل عند سفح الهضبتين اللتين تحدانه على الجانبين وذلك من القاهرة حتى القشن وصخوره عباره عن رواسب رملية شاطئية بها بعض الحفريات وتدل على أن وادى النيل بحالته المعروفه الآن قد تكون وصعدت فيه مياه البحر كخليج ضيق طويل بلغ جنوبا حتى مركز القشن على الأقل . ويتلو ذلك رواسب أخرى تدل صفاتها على أنها تكونت فى بحيرات عذبه مما يدل على أنه قبل إنتهاء هذا العصر كان البحر قد إنحسر عن الوادى فتحول إلى سلسلة من البحيرات وتوجد رواسب البليوسين فى وادى النطرون بالصحراء الغربية وكذلك على شواطىء البحر الأحمر .

(٢) القسم الرباعى Quaternary

ا ـ العصر البليوستوسينى Pleistocene Age

تدل الظواهر على أن هذا العصر فى أوربا (عصر الجليد) كان يقابله فى مصر عصر أمطار شديدة ، ذلك لأن تكوين البليوستوسين هنا دائما عبارة عن رواسب من رمال وحصى مستديرة مصقولة تدل حالتها على أنها تكونت فى مياه جاريه . ومن التكوين البليوستوسينى أيضا الصخور الجيرية الطروخية

Oolitic Limestones التي تكون سلسلة من التلال الممتدة غرب الاسكندرية حتى السلوم . وهي مكونة من تماسك رمال جيرية تكونت على شكل كثبان ممتدة على طول الشاطىء . كذلك يرجع تكون الشواطىء والشعاب المرجانية المرفوعة .

ب ـ العصر الحديث Recent

ويطلق هذا الاسم على الرواسب التي لاتزال تتكون في الوقت الحاضر .

تقدير عمر الصخور والأرض

من المعروف أن العمليات الجيولوجية المختلفة حقا بطيئة العمل ولكن الزمن الجيولوجي طويل جدا ومن هذا كان لهذه العمليات الجيولوجية أثرها الفعال في تشكيل سطح الأرض (الجبال ـ الوديان ـ الهضاب ـ الأنهار ـ والبحيرات) .

ومن الطرق التي إستخدمها الجيولوجيون في تقدير عمر الأرض :ـ

(١) حساب ملوحة المحيطات Salinity of oceans فإذا فرض أن المحيطات كانت منذ بدء تكوينها ذات مياة حلوة وأن سبب ملوحتها الحالية هو الأملاح التي تحملها الأنهار . فاننا نجد أن عمر المحيطات الحالي يتراوح بين ٩٠ مليون سنة إلى ٦٠٠ مليون سنة وذلك حسب المعادلة :

$$\text{عمر الأرض} = \frac{\text{الصوديوم في المحيط}}{\text{كمية الصوديوم التي تحملها الأنهار إلى المحيطات سنويا}}$$

(٢) الترسيب Deposition يمكن إتخاذ سرعة الترسيب أو زمن ترسيب قطاع متتابع من الطبقات الرسوبية كمقياس لمعرفة عمر الأرض . فاذا كانت الرواسب نتيجة للترسيب المستمر بنفس السرعة التي يترسب بها طبقات طمي

نهر النيل (١ مم كل عام) فان عمر الطبقات الرسوبية منذ الكمبرى) حتى الآن يقدر بحوالى ١٢ مليون سنة وهذا أقل بكثير من عمر الأرض الحقيقى . والسبب فى ذلك وجود فترات عدم ترسيب حدث فيها تعرية وتآكل لسطح الطبقات والصخور .

(٣) النحت : Erosion إذا أخذ فى الأعتبار سطح التعرية الكبير بمعرفة زمن التعرية . فانه لإنتاج سطح تعرية كبير مساحته ٣ مليون ميل مربع يجب أن تمر فترة من الزمن طولها ٩ مليون سنة .

(٤) اليورانيوم والعناصر المشعـــة فى المعادن :

Uranium and Radio active elements in minerats

ويعتبر إستخدام المعادن المشعة من أنجح الطرق لتقدير الزمن الذى مضى منذ تبلور هذه المعادن من الحجر والمعروف أن الصخور النارية لاتحتوى على حفريات ولكنها تحتوى على معادن مشعة . وعملية الإشعاع الذرى عملية طبيعية بحتة فيها تتفتت العناصر المشعة أو الغير مستقرة مثل عنصرى اليورانيوم والثوريوم . إلى عناصر أخرى ويتكون فى النهاية الهليوم وغاز الرصاص . وتتفتت هذه العناصر المشعة بمعدل ثابت على مر الزمن لا يؤثر فيها شيئا .

فاذا أخذنا صخرا ناريا به معدن يحتوى على يورانيوم وحللناه وحسبنا نسبة اليورانيوم الباقى فيه إلى نسبة الرصاص الناتج ومعه الثوريوم أمكننا تقدير الزمن الذى مضى على تكوين هذه الصخور والمعادن . أى أن الزمن الذى تستغرقه لتتحول تماما من ذرة يورانيوم نشطة إلى ذرة رصاص خامل

$$\text{هو العمر} = \frac{\text{الرصاص}}{\text{اليورانيوم} + ٠٫٣٦\ \text{ثوريوم}} \times ٧٦٠٠ \times ١٠\ \text{سنة}$$

(٧٦٠٠ مليون سنة عمر ذرة اليورانيوم)

فهرس

صفحة

مقدمـــة ١

الباب الأول

نشأة الأرض ٥

أغلفة الكرة الأرضية ٢٠

المكونات الأساسية للغلاف الصخرى ٢٧

الباب الثانى

البلورات ٣٣

خواص البلورة ٣٣

التماثل البلورى ٣٧

المحاور البلورية ٤٠

المعـــادن ٤٦

الخواص الطبيعية للمعادن ٤٧

التركيب الكيميائى للمعادن ٦٤

الكيمياء البلورية ٦٧

تصنيف المعادن ٦٨

الرواسب المعدنية ٨٠

الباب الثالث

الصخور ٩٧

أولا : الصخور النارية ٩٨

	الصفحة
الصخور الجوفية	٩٩
الصخور التحت سطحية	١٠٠
الصخور السطحية أو البركانية	١٠٣
التركيب المعدني للصخور النارية	١٠٧
وصف بعض الصخور النارية	١٠٩
ثانياً الصخور الرسوبية	١١٤
الصخور الرسوبية ميكانيكية النشأة	١١٦
الصخور الرسوبية الكيميائية النشأة	١٢٠
الصخور الرسوبية العضوية	١٢٤
ثالثا : الصخور المتحولة	١٣٠
التحول الحرارى (إلتماس)	١٣١
التحول الإقليمى والديناميكى (التحول الضغطى الحرارى)	١٣٤

الباب الرابع

البنيات (التركيب جيولوجية)	١٤٠
عدم التوافق	١٤٢
الطيات	١٤٥
الفوالق والصدوع	١٥٢
الفـــواصل	١٥٩
النواحى الإقتصادية للبنيات الجيولوجية	١٦٢
توازن القشرة الأرضيه	١٧٣
الحركات الارضيه	١٧٦

صفحة

الباب الخامس

الجيولوجيا الطبيعية أو الديناميكية ١٨٥

مقدمـــة ١٨٥

العوامل الخارجية المؤثرة في القشرة الأرضية ١٨٦

عملية التجوية ١٨٩

التجوية الكيميائية ١٩٠

ثبات المعادن والتجوية ١٩٥

التجوية والمناطق المناخية ١٩٨

نواتج التجوية ٢٠٣

تكوين التربة ٢٠٦

النحت ٢١٩

الظواهر الطوبوغرافية الناتجة من عمل الأنهار ٢٢٨

الميـاه الجوفية ٢٣٥

العوامل الداخلية المؤثرة فى القشرة الأرضية ٢٤٦

الحركات الأرضية ٢٤٧

الحركات الأرضية السريعة ٢٤٧

الزلازل ٢٤٧

الحركات الأرضية البطيئة ٢٥٣

أنواع الحركات البطيئة ٢٥٣

أسباب الحركات الأرضية البطيئة ... ٢٥٤

النشـاط البركاني ٢٥٨

صفحة

الباب السادس

الجيولوجيا التاريخية ٢٦٤
السلم الزمنى للأرض ٢٦٦
التطــــور ٢٧٣
أقسام التاريخ الجيولوجى للكرة الأرضية ٢٧٥
الحلقات الترسيبية فى تاريخ مصر الطبقى ٢٧٩
موجز لتاريخ مصر الجيولوجى ٢٧٩
تقدير عمر الصخور والأرض ٢٨٨


Bibliotheca Alexandrina
0399631